

Efeito do compasso à plantação no desenvolvimento de povoamentos de pinheiro bravo

Rafael Nabais Pedrico

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientadoras: Professora Ana Paula Soares Marques de Carvalho

Professora Maria Margarida Branco de Brito Tavares Tomé

Júri:

Presidente: Doutora Maria da Conceição Brálio de Brito Caldeira, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais:

Doutora Ana Paula Soares Marques de Carvalho, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Joana Amaral Paulo, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Em primeiro lugar, à Professora Paula Soares, tornou tudo possível com a sua enorme paciência, disponibilidade e dedicação. Não há palavras para agradecer todo o apoio prestado, todas as noitadas, um muitíssimo obrigado!

À Professora Margarida Tomé, por todo o apoio, simpatia, e incentivar a ir sempre um pouco mais longe.

À minha namorada Cláudia Varandas, porque estiveste sempre quando foi preciso, obrigado por acreditares em mim, és simplesmente fantástica, fazes de mim uma pessoa melhor.

Aos meus colegas e amigos Carlos Dias e Filipa Filipe, por toda a amizade e apoio ao longo destes 5 anos, por tudo o que vivemos juntos, todos os dias tornaram este percurso um pouco mais memorável.

Ao meu amigo, o incansável Jorge Santos, por toda a ajuda ao longo deste percurso, ajudou a ultrapassar muitos obstáculos que inicialmente pareciam impossíveis.

À minha família, pais, irmã, irmão e avós, por todo o apoio e por todos os sacrifícios, tornaram possível esta conquista.

Ao Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) todo o apoio logístico prestado na fase de instalação do ensaio de Vale de Cavalos e na gestão do ensaio ao longo destes 24 anos.

Resumo

Saber de que forma a competição influencia o desenvolvimento das árvores e dos povoamentos é fundamental na silvicultura e na modelação florestal. Embora o pinheiro bravo seja uma das espécies florestais mais importantes em Portugal, não existe informação sobre este assunto, especialmente em plantações jovens. Neste trabalho pretende-se contribuir para o conhecimento da competição intraespecífica em plantações jovens desta importante espécie florestal.

Analisa-se os dados do ensaio de compassos de Vale de Cavalos, localizado no Perímetro Florestal de S. Miguel e S. Lourenço, no concelho de Viseu. Este ensaio foi medido 6 vezes desde a plantação (novembro de 1994) e ao longo de 22 anos. O ensaio é constituído por dois blocos; cada bloco tem 8 parcelas e cada parcela tem 392 árvores úteis. As densidades variam entre 625 e 3333 árvores por hectare. Analisa-se os efeitos da competição intraespecífica, expressa por diferentes densidades à plantação, nas variáveis altura dominante, área basal, diâmetro quadrático médio, coeficiente de adelgaçamento, proporção de copa, volume total e mercantil. Analisa-se a evolução temporal das distribuições de frequência de diâmetros e alturas, caracterizadas pelos coeficientes de achatamento e assimetria e pela variação. Não tendo sido efetuados desbastes, analisa-se o efeito da competição na mortalidade.

Observa-se o desenvolvimento típico de povoamentos puros equiênicos de espécies resinosas, pioneiras e intolerantes:

- a) a densidade tem influência na distribuição de frequências dos diâmetros e das alturas das árvores conduzindo a assimetrias que se acentuam com a idade;
- b) nos compassos mais apertados, aos 22 anos, observa-se mortalidade dependente da densidade;
- c) a altura dominante é independente da densidade;
- d) maiores densidades associam-se a maiores volumes totais e mercantis, independentemente da mortalidade verificada;
- e) as variáveis de copa são afetadas pela densidade;
- f) as variáveis da árvore média são afetadas pela densidade.

Palavras chave: pinheiro bravo, silvicultura, compasso de plantação, competição intraespecífica, recursos.

Abstract

Determining how competition influences the development of a stand has a great relevance for forestry and forestry modeling. This work intends to help fill the gap in a species of great national importance, maritime pine, by studying the effect of intraspecific competition in young plantations.

In this work, the behavior of maritime pine at stand level, mean tree and individual tree was studied in a spacing trial, representative of different levels of competition, located in the Forest Perimeter of S. Miguel and S. Lourenço, Viseu county. The trial was measured 6 times, from planting (November 1994) until the age of 22 years. The trial consists of two blocks; each block has 8 plots and each plot has 392 measurable trees. Densities range from 625 to 3333 trees per hectare. The effects of intraspecific competition on the variables dominant height, basal area, quadratic mean diameter, stem form, and crown ratio, total and merchantable volume, were analyzed. The time evolution of the diameter and height distributions, characterized by kurtosis and skewness coefficients and by size variation was analyzed. No thinnings were applied in order to study the effects of intraspecific competition over mortality.

The typical development of pure even-aged stands of softwoods, pioneering and intolerant species was observed:

- a) stand density influences the diameter and height frequency distributions, leading to asymmetry in size distributions that increases with aging;
- b) at 22 years old, higher densities present density-dependent mortality;
- c) dominant height is independent of the stand density;
- d) higher stand densities are associated to greater total and merchantable volumes, regardless of the mortality;
- e) crown variables are affected by stand density;
- f) mean tree variables are affected by stand density.

Keywords: maritime pine, forestry, spacing, intraspecific competition, resources.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	vi
SIMBOLOGIA.....	vii
1. Introdução	1
2. Revisão bibliográfica	3
2.1. Definições de competição.....	3
2.2. Competição intraespecífica.....	6
2.3. Efeito da competição intraespecífica na estrutura do povoamento	8
2.4. Efeito da competição intraespecífica nas variáveis da árvore e do povoamento	13
2.5. Ensaio de compassos	14
3. Ensaio de compassos de pinheiro bravo de Vale de Cavalos	17
4. Metodologia.....	20
5. Resultados e discussão	23
5.1. Efeito da competição intraespecífica na estrutura do povoamento	23
<i>Distribuição de frequências para o diâmetro da árvore</i>	23
<i>Distribuição de frequências para a altura da árvore</i>	30
<i>Mortalidade dependente da densidade (auto-desbaste)</i>	33
<i>Distribuição espacial das árvores dominantes e das árvores mortas</i>	36
5.2. Efeito da competição intraespecífica nas variáveis da árvore e do povoamento	41
<i>Variáveis das árvores dominantes: altura e diâmetro médio</i>	41
<i>Variáveis da densidade do povoamento: número de árvores por hectare e área basal</i>	43
<i>Variáveis do povoamento: volume total, volume mercantil e acréscimo médio anual em volume</i>	44
<i>Variáveis da árvore média e médias da árvore</i>	46
5. Considerações finais e recomendações	53
6. Referências bibliográficas	55
Anexos	63

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Competição bilateral assimétrica e simétrica e competição unilateral; as setas representam a proporcionalidade existente na partilha dos recursos em relação à dimensão dos indivíduos envolvidos. 5
- Figura 2. Interligação entre modelos de produção e dados obtidos em parcelas permanentes, ensaios de campo e experiências realizadas em laboratório (M. Tomé, www.forestmodels.eu, consultado em janeiro de 2019). 15
- Figura 3. Localização do ensaio de compassos de Vale de Cavalos – Perímetro Florestal de S. Miguel e S. Lourenço (B1 – bloco 1; B2 – bloco 2). 17
- Figura 4. Esquema geral do ensaio de compassos de Vale de Cavalos. 18
- Figura 5. Aspeto do ensaio de compassos de Vale de Cavalos; fotografias de a) julho 2016 e b) janeiro 2019, após limpeza de matos. 19
- Figura 6. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 1x3 e 1x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação. 24
- Figura 7. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 2x3 e 2x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação. 25
- Figura 8. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 3x3 e 3x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação. 26
- Figura 9. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 4x3 e 4x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação. 27
- Figura 10. Percentagem de árvores com altura superior a 1,30 m, para medição de diâmetro, aos 3 e 4 anos. Indica-se o índice de qualidade da estação (em metros) para cada uma das parcelas. 29
- Figura 11. Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3 e 4x4, no bloco 1, para os 2, 3 e 4 anos; as linhas a tracejado representam as médias associadas a cada distribuição; \bar{h} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da

média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.	31
Figura 12. Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3 e 4x4, no bloco 1, para os 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias associadas a cada distribuição; \bar{h} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.	32
Figura 13. Relação entre o logaritmo do número de árvores por hectare (N) e o logaritmo do diâmetro quadrático médio (dg) observada no ensaio de Vale de Cavalos, aos 16 e 22 anos. Apresenta-se a linha de auto-desbaste ajustada por Tomé (www.forestmodels.eu , consultada em janeiro 2019) para o pinheiro bravo.....	35
Figura 14. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 2 anos; na ausência de medições de diâmetros foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.	36
Figura 15. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 3 anos; na ausência de medições de diâmetros foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.	37
Figura 16. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 4 anos; na ausência de medições de diâmetros foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.	38
Figura 17. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 5 anos; foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.	39
Figura 18. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 16 anos; foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.	40
Figura 19. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 22 anos; foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.	41
Figura 20. Relação entre a altura dominante e o compasso nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).....	42
Figura 21. Relação entre o diâmetro dominante e o compasso nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).....	42
Figura 22. Influência do compasso na área basal por ha^{-1} , nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).....	43
Figura 23. Efeito da densidade no volume total por ha^{-1} , nos blocos do ensaio, aos 16 e 22 anos. Apresenta-se a linha de tendência associada a cada medição para ambos os blocos.	44

Figura 24. Influência do compasso no volume total por ha ⁻¹ , nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).....	45
Figura 25. Influência do compasso na altura média e no diâmetro quadrático médio (dg), nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).....	47
Figura 26. Influência da densidade na média do volume das árvores, nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos). Apresenta-se a linha de tendência associada a cada medição para ambos os blocos.	47
Figura 27. Evolução da média das alturas da base da copa (hbc) e da proporção de copa (cr), nos blocos do ensaio, aos 16 e 22 anos. As linhas a preto referem-se à altura da base da copa, as linhas a cor referem-se à proporção da copa.....	48
Figura 28. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 1x3 e 1x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.	49
Figura 29. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 2x3 e 2x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.	50
Figura 30. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 3x3 e 3x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.	51
Figura 31. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 4x3 e 4x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.	52
Figura 32. ANEXO - Distribuição espacial das árvores dos dois blocos aos 5 anos. Foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.....	a
Figura 33. ANEXO - Distribuição espacial das árvores dos dois blocos aos 16 anos. Foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.....	b
Figura 34. ANEXO - Distribuição espacial das árvores dos dois blocos aos 22 anos. Foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.....	c
Figura 35. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3; 1x4; 2x3 e 2x4 no bloco 1 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , g1, b2 e cv são estimativas, para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, %m, percentagem de mortalidade da parcela em relação à plantação.	d
Figura 36. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 3x3; 3x4; 4x3 e 4x4 no bloco 1 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , g1, b2 e cv são estimativas, para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, %m, percentagem de mortalidade da parcela em relação à plantação.	e

Figura 37. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3; 1x4; 2x3 e 2x4 no bloco 2 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , g_1 , b_2 e cv são estimativas, para a população, respectivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, %m, percentagem de mortalidade da parcela em relação à densidade à plantação.

.....f

Figura 38. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 3x3; 3x4; 4x3 e 4x4 no bloco 2 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , g_1 , b_2 e cv , são estimativas, para a população, respectivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, %m, percentagem de mortalidade da parcela em relação à densidade à plantação.

.....g

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização do ensaio de compassos de Vale de Cavalos.....	18
Tabela 2. Intervenções e medições do ensaio de compassos de Vale de Cavalos.	19
Tabela 3. Definição das variáveis da árvore e do povoamento.	21
Tabela 4. Percentagens de árvores retanchadas, por compasso e por bloco,.....	29
Tabela 5. Número de árvores vivas no bloco 1 do ensaio de compassos.	33
Tabela 6. Número de árvores vivas no bloco 2 do ensaio de compassos.	34
Tabela 7. Percentagem de mortalidade no ensaio de compassos de Vale de Cavalos para ambos os blocos.	34
Tabela 8. Caracterização do auto-desbaste do ensaio de compassos de Vale de Cavalos, para ambos os blocos.	35
Tabela 9. Valores de volume total e mercantil por ha ⁻¹ , diâmetro quadrático médio e acréscimo médio anual em volume total aos 22 anos, para os 2 blocos do ensaio de Vale de Cavalos, aos 16 e 22 anos.	45

SIMBOLOGIA

Perante a inexistência de uma simbologia florestal *standard* em Portugal, optou-se pela utilização da simbologia proposta em “Símbolos usados na inventariação e modelação de recursos florestais” de Soares e Tomé (2008). Quando as variáveis abaixo listadas não foram referidas nesse trabalho (ex., coeficiente de achatamento), apresentou-se uma simbologia própria.

variáveis da árvore individual

cl	profundidade da copa
cr	proporção de copa
d	diâmetro com casca à altura do peito (1,30 m)
d1, d2	diâmetros com casca cruzados à altura do peito (1,30 m)
dq	diâmetro quadrático
g	área seccional, área basal da árvore
h	altura total
hbc	altura da base da copa
hst	altura do cepo
h_st	altura sem cepo
vr _{di}	volume percentual com casca em função do diâmetro de despona
t	idade
v	volume com casca e com cepo, volume total
v_st	volume com casca e sem cepo
vm _{di}	volume mercantil com casca (sem cepo) para um diâmetro de despona di (cm)
vst	volume do cepo com casca
vu_st	volume sem casca e sem cepo

variáveis da árvore média, da árvore dominante média ou médias de variáveis

\bar{d}	média dos diâmetros
\bar{h}	média das alturas
ddom	diâmetro da árvore dominante de área seccional média
dg	diâmetro da árvore de área seccional média

variáveis do povoamento

dmax	diâmetro máximo
G	área basal por hectare
hdom	altura dominante, média das alturas das 100 árvores mais grossas por hectare
hmax	altura máxima
S	índice de qualidade de estação
mai	acréscimo médio anual
N	número de árvores vivas por hectare
Npl	número de árvores plantadas por hectare
t	idade
V	volume com casca e com cepo, volume total por hectare

variáveis caracterizadoras das distribuições de diâmetros e de alturas

b2	estimador do coeficiente de achatamento para a população (<i>kurtosis</i>), normalmente com a designação de g2
g1	estimador do coeficiente de assimetria para a população (<i>skewness</i>)
cv	estimador do coeficiente de variação para a população

outras

%m	percentagem de mortalidade em relação à densidade à plantação
\bar{x}	valor médio da variável
B1	bloco 1
B2	bloco 2
MA	média móvel
n	número de árvores da parcela
s	desvio padrão
x	valor da variável

1. Introdução

De acordo com os resultados preliminares do último Inventário Florestal Nacional (IFN6), publicado pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2013), a floresta portuguesa ocupava, em 2010, 35,4% do território continental, o que corresponde a 3,2 milhões de hectares. Esta percentagem de ocupação de floresta coloca Portugal na média dos países da União Europeia (37,9%) (SOEF, 2015). Note-se que as áreas de uso florestal incluem as superfícies arborizadas (correspondentes aos designados povoamentos florestais) e as superfícies temporariamente desarborizadas (superfícies ardidadas, cortadas e em regeneração), para as quais se prevê a recuperação do seu coberto arbóreo.

Segundo o IFN6 (ICNF, 2013), a área total de pinheiro bravo corresponde a 714 mil hectares, tendo diminuído 263 mil hectares entre 1995 e 2010, sendo que a maior parte desta área se converteu em matos e pastagens (165 mil hectares), 70 mil hectares em eucalipto, 14 mil hectares em espaços urbanos e 14 mil hectares em áreas florestais com outras espécies arbóreas.

A área de distribuição da espécie em Portugal Continental corresponde, sensivelmente, à faixa litoral que vai das bacias do Tejo e Sado até ao rio Minho, estendendo-se para o interior, nas regiões norte e centro, até altitudes entre os 700 e os 900 m (Oliveira e Correia, 2002). Devido à sua plasticidade e rusticidade, o pinheiro bravo expandiu-se por todo o território, muito para além da sua área ótima de desenvolvimento, através de programas de arborização promovidos pelo estado português (Carvalho, 2017). É indiscutivelmente uma espécie com grande importância económica (Centro Pinus, 2018), cujos principais produtos são a madeira para serração, postes e trituração e a resina, a qual, após o declínio de produção desde os anos 70, inverteu a tendência na última década, atingindo as 8000 toneladas em 2017 (ICNF, 2018).

A ausência de gestão, que se reflete também na diminuição de área, tem sido um dos grandes obstáculos ao aumento da produção de produtos provenientes do pinhal, agravada pelo facto dos incêndios rurais serem recorrentes, em ciclos relativamente curtos, tornando difícil a existência de rotações longas e a reflorestação com base na regeneração natural (ICNF, 2014). Nesse sentido, a diversificação da oferta de madeira de diferentes dimensões pode ser uma alternativa económica interessante para o proprietário florestal. É, pois, fundamental saber qual o efeito da densidade inicial no desenvolvimento e crescimento das árvores, para que se consigam definir sistemas e modelos de silvicultura alternativos que possam dar resposta às solicitações de mercado.

Neste trabalho vai-se analisar o efeito do compasso à plantação no desenvolvimento inicial do pinheiro bravo, tendo por base um ensaio de compassos instalado no Perímetro Florestal de S. Miguel e S. Lourenço, em Vila Nova de Paiva, distrito de Viseu, em 1994, e onde se testaram todas as combinações de 3 e 4 metros na entre-linha com 1, 2, 3 e 4 metros na linha, resultando em densidades à plantação compreendidas entre as 625 e as 3333 árvores por hectare.

2. Revisão bibliográfica

Um dos métodos mais antigos e reconhecido para alcançar objetivos na gestão florestal é o controlo da densidade dos povoamentos (Allen e Burkhardt, 2018). Através do número de árvores à plantação, periodicidade e intensidade de desbastes e/ou tipo de cortes de regeneração ou realização, a densidade de um povoamento pode ser manipulada de forma a se alcançarem objetivos específicos de gestão. No caso das florestas de produção, esse objetivo é, normalmente, a sua maximização, podendo, no caso da produção lenhosa, esta estar concentrada num maior ou menor número de árvores, o que se irá refletir na dimensão da árvore média. Recorrendo a ensaios de compassos é possível estudar a relação entre o desenvolvimento dos povoamentos e a densidade inicial uma vez que esta tem efeitos não só na estrutura e variabilidade dos povoamentos como nas variáveis da árvore e do povoamento (ex., Soares et al., 1996).

Partindo dos trabalhos de Carvalho (1995, 1999), apresenta-se a revisão bibliográfica estruturada em (a) definições de competição, (b) competição intraespecífica, (c) efeito da competição intraespecífica na estrutura do povoamento e nas variáveis da árvore e do povoamento e (d) utilização de ensaios de compassos como estruturas para estudo e análise do efeito da densidade no desenvolvimento e crescimento das árvores.

2.1. Definições de competição

A *competição* pode ser definida como um conjunto de interações negativas entre indivíduos, resultantes da interferência direta dos organismos envolvidos ou indireta através duma diferente exploração de recursos disponíveis, embora limitados, que conduzem à redução da sobrevivência, crescimento e/ou reprodução dos indivíduos (Begon et al., 1986; Keddy, 1989; Connell, 1990).

Recurso pode definir-se como sendo qualquer substância ou fator que é consumido por um organismo e que conduz ao aumento da taxa de crescimento, desde que esteja disponível no meio ambiente em quantidades crescentes. O início do processo de competição pode ser determinado pelo momento em que o *fornecimento imediato de um recurso necessário para o crescimento desce abaixo das necessidades de uma planta individual* (Donald, 1963). Esta indisponibilidade do recurso pode resultar do facto de ter sido utilizado por outra planta (competidora) ou porque os níveis de disponibilidade atingidos são tão baixos que o recurso pode ser considerado ausente (Oliver e Larson, 1996).

Um modelo conceptual de competição é sugerido por Goldberg (1990), segundo o qual as interações entre as plantas devem ser analisadas com base nos efeitos e nas respostas da competição. Os efeitos são vistos como a influência da comunidade de plantas nos níveis de recursos e podem ser definidos pelas taxas de variação de luz, água e nutrientes disponíveis por unidade de dimensão ou por planta. As respostas resultam das relações de alguns elementos de ajustamento (crescimento, sobrevivência e reprodução) da planta aos recursos disponíveis, cuja disponibilidade é função das características da estação, modificadas pela estrutura da comunidade competidora. Para que a competição possa ser considerada uma influência importante no ajustamento da planta à estrutura da comunidade, tanto os efeitos como as respostas devem ser significativos e bem definidos.

Se a competição se verificar entre espécies diferentes, independentemente do nível trófico em que se situem (plantas herbáceas, arbustivas ou arbóreas), a competição diz-se interespecífica; pelo contrário, relações de competição estabelecidas entre plantas da mesma espécie designam-se, genericamente, por competição intraespecífica.

Os processos de competição podem ser definidos de acordo com dois modelos (Figura 1): competição unilateral *versus* bilateral e competição simétrica *versus* assimétrica (Perry, 1985; Weiner, 1985, 1986; Brand e Magnussen, 1988; Lundqvist, 1994). Na competição bilateral, a partilha dos recursos é feita por todos os indivíduos enquanto que na competição unilateral as árvores de grandes dimensões não são afetadas pelos indivíduos menores (Brand e Magnussen, 1988; Weiner, 1990). Quando a partilha dos nutrientes é proporcional à dimensão dos indivíduos, diz-se que a competição é simétrica (Brand e Magnussen, 1988).

A competição depende sobretudo dos recursos que estiverem a ser partilhados e da morfologia dos indivíduos envolvidos (Hendry et al., 1996; Newton e Jolliffe, 1998). Quando ocorre o encerramento do copado, as árvores ensombram-se mutuamente, sendo a luz o principal fator limitante para as árvores dominadas e subdominantes - a competição resultante é predominantemente assimétrica, consequência da grande diferença entre a radiação fotossinteticamente ativa verificada no topo do copado e ao nível do solo (Ford e Diggle, 1981; Fabião e Pereira, 1984; Weiner, 1985; Hara, 1988; Knox et al., 1989; Lundqvist, 1994). Se a competição for o resultado de deficiências em água e nutrientes, então essa competição é considerada bilateral e poderá ser simétrica caso se assuma que a captação dos nutrientes é proporcional à dimensão do sistema radicular (Weiner, 1990; Lundqvist, 1994). Se a água e os nutrientes forem utilizados em maior proporção pelos indivíduos de maiores dimensões, então a competição poderá ser considerada assimétrica (Weiner, 1990). O conceito básico de competição assimétrica diz-nos que indivíduos maiores têm vantagens competitivas sobre

indivíduos mais pequenos. Paralelamente, a competição simétrica implica que os efeitos da competição nos indivíduos sejam proporcionais à sua dimensão.

Deve, no entanto, ter-se presente que a identificação da presença de competição pela água e nutrientes é difícil, uma vez que os efeitos manifestados podem ser o resultado da combinação da *verdadeira* competição estabelecida ao nível do sistema radicular com uma *natural* deficiência primária de água e nutrientes ao nível do solo, característica de uma baixa produtividade da estação (Carvalho, 1999). A competição ao nível do sistema radicular assume grande importância nos sistemas agroflorestais e em povoamentos florestais em que exista uma elevada densidade de matos e de vegetação herbácea competidora. É, também, particularmente importante nos países mediterrâneos, em que existe uma nítida e forte estação seca, com solos muitas vezes pobres em nutrientes e em que a luz não é, por norma, um fator limitante.

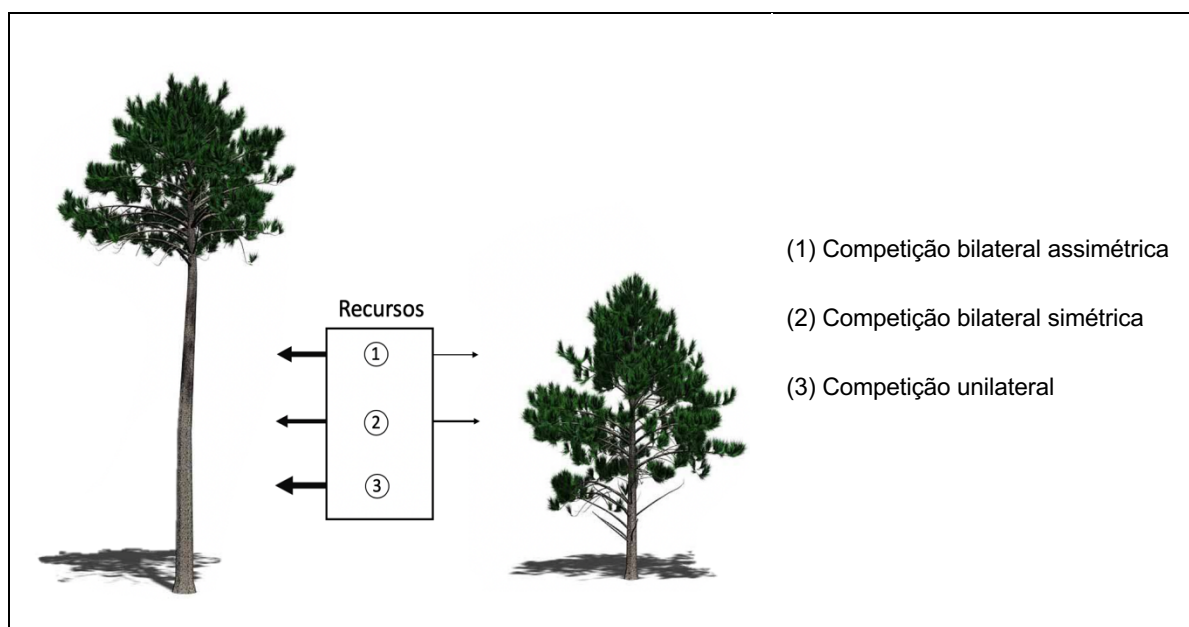


Figura 1. Competição bilateral assimétrica e simétrica e competição unilateral; as setas representam a proporcionalidade existente na partilha dos recursos em relação à dimensão dos indivíduos envolvidos.

No estudo da competição entre plantas deve ser dada ênfase à integração da captura de recursos abaixo (água e nutrientes) e acima (luz) do solo e não à procura de um único fator limitante. Também a integração total da planta, quando considerada isoladamente ou quando inserida num povoamento, se torna fundamental para compreender as respostas, quando encaradas dentro de estratégias naturais de sobrevivência, a níveis deficitários de recursos (Pereira, 1981). Por exemplo, uma folhagem tolerante à seca e sistemas radiculares extensos são fatores que tornam as plantas competitivamente mais agressivas face à falta de água. Em princípio, esta vantagem competitiva só se traduz num maior crescimento se os ganhos

devidos a tais estratégias ultrapassarem os que adviriam de uma folhagem mais produtiva ou de menores consumos de produtos da fotossíntese na construção dos sistemas radiculares, a qual é, aliás, feita a expensas da ocupação de espaço aéreo (Pereira, 1981).

São bastantes os exemplos encontrados na bibliografia, caracterizando o(s) tipo(s) de competição presente(s) em comunidades vegetais (ex., Ford e Diggle, 1981; Cannell et al., 1984; Weiner e Thomas, 1986). No entanto, os exemplos florestais, frequentemente aplicados a povoamentos puros, têm-se baseado no estudo da estrutura e dinâmica das populações e nas alterações das características das plantas individuais, observadas em condições representativas de diferentes intensidades competitivas (ex., Carvalho, 1999).

O desenvolvimento de sistemas de gestão não exige apenas conhecimentos de genética e de fisiologia ao nível da árvore, sendo necessário compreender as interações entre as várias árvores que constituem um povoamento (Perry, 1985). Elevadas densidades reduzem o crescimento da árvore individual e baixas densidades podem levar a um sub-aproveitamento dos recursos do solo, reduzindo a sua produção por unidade de área (Mohler et al., 1978). A competição levou ao desenvolvimento de estratégias de alocação de recursos entre indivíduos e espécies e, portanto, podem desenvolver-se sistemas de gestão mais eficientes caso se explorem estas estratégias. O crescimento em povoamentos heterogéneos (em composição e/ou estrutura) é, geralmente, mais resistente a pragas e doenças e às alterações climáticas do que em povoamentos homogéneos. No entanto, algumas vantagens económicas que geralmente se obtêm a curto prazo e que se associam a povoamentos homogéneos bem como a maior garantia de crescimento que provem de povoamentos heterogéneos não podem ser estudadas enquanto não se compreender a genética e os fatores ambientais que influenciam a comunidade das plantas e as suas dinâmicas (Perry, 1985).

2.2. Competição intraespecífica

A competição intraespecífica em povoamentos puros equiênicos já foi classificada tanto como um processo de depleção de recursos como um processo de acumulação de recursos (Kohyama e Kira, 1956; Ford 1975; Mohler et al., 1978; West e Borough, 1983; Cannell et al., 1984; Brand e Magnussen, 1988; Thomas e Weiner, 1989; Newton, 1990; Schwinning e Fox, 1995; Weiner et al., 1997). O processo de depleção de recursos é caracterizado por uma relação simétrica, onde os competidores partilham uma quantidade limitada de recursos numa proporção direta às suas dimensões relativas, independentemente das diferenças absolutas (Weiner, 1990). Reciprocamente, o processo de acumulação de recursos caracteriza-se por

uma relação assimétrica na qual os competidores partilham os recursos limitados de forma não proporcional às suas dimensões - competidores de maiores dimensões utilizam uma maior porção dos recursos limitados do que competidores mais pequenos (Weiner, 1990). Para além disso pensa-se que a depleção de recursos envolve competição ao nível radicular na qual os competidores absorvem os recursos disponíveis no solo numa proporção direta aos seus tamanhos relativos (Weiner, 1985; Lieffers e Titus, 1989, Weiner et al., 1997). A acumulação de recursos envolve competição ao nível aéreo, na qual os competidores de maiores dimensões impedem os competidores mais pequenos de absorver radiação solar (Weiner, 1986; Petersen et al., 1990). Os processos de depleção e acumulação de recursos têm efeitos diferentes no crescimento das várias componentes da árvore e nos padrões de povoamentos com indivíduos afetados pela densidade (Weiner, 1990).

A competição nos povoamentos florestais pressupõe que o fornecimento de recursos ambientais (luz, água e/ou nutrientes) a cada árvore seja reduzido pela presença de árvores vizinhas, quer sejam da mesma espécie quer sejam de espécies diferentes. Uma vez que os recursos partilhados pelas árvores dos povoamentos são difíceis de quantificar, muitos estudos de competição assentam numa metodologia baseada na dinâmica de populações - características particulares do povoamento ou dos indivíduos que o constituem podem ser indicativas de como a competição se manifesta (Harper, 1977).

A competição é considerada um modificador geral da alometria nas árvores (Mäkelä e Valentine, 2006; Duursma et al., 2010; Pretzsch, 2014). Os resultados de del Río et al. (2019) vêm reforçar a existência de uma grande variabilidade intraespecífica na alometria de acordo com a competição.

A competição influencia tanto o crescimento em altura e diâmetro dos indivíduos como a distribuição de frequências dos mesmos. Uma grande parte do efeito direto da competição no crescimento é mediada através dos impactos na quantidade de carbono retido por unidade de área foliar e pelo tamanho e forma da copa (Perry, 1985). À medida que o povoamento se aproxima da área foliar máxima suportada, a produção de ramos é reduzida e a desramação faz com que a base da copa suba (Cochrane e Ford, 1978). Com o aumento do ensombramento da base da copa, a mortalidade dos ramos pode ser superior nas árvores dominantes (Oker-Blom e Kellomäki, 1982), fazendo com que o engrossamento no tronco seja maior na base da copa (Hall, 1965; Brix, 1983), alterando a forma da árvore durante este processo. Ford (1982) verificou que, em plantações de *Picea sitchensis*, o início da competição era acompanhado por um declínio tanto da produção do povoamento como do índice de área foliar. As árvores podem tentar compensar o ensombramento desenvolvendo, por exemplo, folhas de sombra e de luz - as folhas de sombra da *Castanea sativa* têm uma

maior proporção área/biomassa e mais clorofila por unidade de biomassa do que as folhas de sol (Ford e Newbould, 1971). Kellomäki e Hari (1980) verificaram, em povoamentos de *Pinus sylvestris*, que as árvores não dominantes apresentavam maiores taxas absolutas de crescimento em altura e em diâmetro do que as árvores dominantes, devendo-se, parcialmente, a menores taxas de respiração e a uma maior proporção área foliar/biomassa foliar.

As árvores mais eficientes em termos competitivos apresentam copas mais largas, o que se traduz em maior produção de fotoassimilados e maior acumulação de carbono (Perry, 1985). No entanto, a respiração em copas grandes é, geralmente, acompanhada por baixas eficiências produtivas. Assmann (1970), ao rever a investigação de folhosas e resinosas a nível Europeu, concluiu que, em cada estrato arbóreo, as árvores com as copas pequenas a médias apresentavam maiores crescimentos por unidade de área de copa do que as árvores com as maiores copas. No entanto, o acesso ilimitado à luz solar das árvores dominantes tende a contrabalançar os rendimentos mais baixos com maior transpiração. Em plantações de *Pinus sylvestris*, onde existe apenas uma pequena redução a nível de produtividade por unidade de área de copa nas árvores dominantes, existe uma grande redução ao nível das árvores dominadas e subdominantes (Mayer, 1957). Assmann (1970) observou a mesma relação em povoamentos de *Quercus petraea*. As árvores em povoamentos recentemente desbastados comportam-se de maneira semelhante às árvores dominantes em povoamentos não desbastados, tal como se verificou em povoamentos de *Pinus contorta* (Gary, 1978), *Pseudotsuga menziesii* (Curtis e Reukema, 1970) e *Picea abies* (Burger, 1939). Apesar da grande variedade de respostas das árvores dominadas, níveis elevados de competição reduzem sempre o seu crescimento. As taxas de crescimento relativas diminuem fortemente à medida que os estratos arbóreos vão ficando mais homogéneos em povoamentos de *Picea sitchensis* (Ford, 1975) e *Pinus radiata* (West e Borough, 1983).

2.3. Efeito da competição intraespecífica na estrutura do povoamento

Os povoamentos equiênicos da maior parte das espécies florestais seguem um padrão de desenvolvimento semelhante, o qual pode ser caracterizado tanto pela distribuição de frequências de dimensões das árvores como pelo efeito da densidade nas variáveis da árvore e do povoamento. Nas fases iniciais de desenvolvimento dos povoamentos, as dimensões dos indivíduos seguem uma distribuição normal, mas com o tempo tendem a surgir assimetrias (Ford, 1975; Mohler et al., 1978; Kohyama e Fujita, 1981). De facto, inicialmente, as árvores são pequenas e crescem sem estabelecerem relações competitivas entre elas. A exploração dos recursos, nesta fase, não é total. Numa fase mais avançada de

desenvolvimento do povoamento, estabelecem-se relações de competição intraespecífica e a taxa de crescimento da árvore reduz-se em relação à taxa potencial originando alterações na estrutura do povoamento. Assim, as distribuições de frequências dos diâmetros e das alturas das árvores de um povoamento inicialmente são normais ou assimétricas negativas (com cauda à esquerda) tornando-se, posteriormente, assimétricas positivas (com cauda à direita) (Gates, 1982). Em povoamentos de *Pseudotsuga menziesii*, com idades entre os 20 e os 25 anos, verificou-se que as distribuições de frequências de diâmetros e de alturas apresentavam assimetria positiva quando as árvores eram relativamente pequenas e estas assimetrias tornavam-se progressivamente mais negativas à medida que a média das dimensões das árvores aumentava. O crescimento aparentemente rápido de alguns indivíduos no povoamento estabelece uma assimetria positiva inicial, mas, à medida que o crescimento abrandava, algumas das árvores mais pequenas transitam de classe invertendo a tendência da assimetria. Os coeficientes de achatamento em distribuições de diâmetro de plantações de *Pinus radiata* estudadas por Gates et al. (1983) ao longo de 25 anos variaram de 0 (normal) para valores negativos e depois para valores positivos. Estes comportamentos são grandemente dependentes do grau de tolerância à sombra e da rapidez de crescimento, características específicas da espécie.

O fator competição tende a reforçar e intensificar a variabilidade nas dimensões das plantas; quando a mortalidade atinge cerca de 50% pode desenvolver-se uma distribuição bimodal, o que indica, muito provavelmente, que ocorreu competição unilateral - as árvores de maiores dimensões suprimiram as árvores de menores dimensões e as árvores mais pequenas ofereceram pouca resistência (Ford e Newbould, 1970, 1971; Ford, 1975). A competição unilateral associa-se normalmente competição pela luz (Ford e Diggle, 1981).

A forma das distribuições de frequências pode ser estudada com base na análise de histogramas e no cálculo de medidas de forma (coeficientes de assimetria e achatamento) e de dispersão (coeficiente de variação) das distribuições de frequência.

No caso da assimetria, que corresponde ao grau de afastamento que a distribuição tem em relação ao seu eixo de simetria, esta pode ser positiva ou negativa consoante o afastamento ocorra do lado direito ou esquerdo do eixo. Consoante o valor obtido para o coeficiente de assimetria (g_1 – *skewness*), assim a função é classificada como:

Distribuição simétrica ($g_1 = 0$)
Distribuição assimétrica positiva ($g_1 > 0$)
Distribuição assimétrica negativa ($g_1 < 0$)

Para que uma distribuição se possa assumir como normal, tanto a assimetria como o achatamento têm de ser próximos de zero, considerando o intervalo $]-0,5; 0,5[$. Para valores

absolutos superiores a 1 assume-se que a distribuição dos dados não é do tipo normal (Murteira, 1993).

O coeficiente de assimetria empírico de Fisher (g_1) define-se por:

$$g_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

onde n é o número total de observações para a variável em análise; x , o valor da variável; \bar{x} , uma estimativa da média da variável para a população, s , o desvio padrão. Os valores positivos e negativos indicam um maior número de observações nas classes correspondentes, respetivamente, às dimensões menores (assimetria com cauda à direita) e maiores (assimetria com cauda à esquerda). Se a distribuição dos dados for simétrica então o coeficiente de assimetria terá um valor nulo (embora a recíproca não seja verdadeira).

Outro exemplo de uma medida de forma frequentemente utilizado é o coeficiente de achatamento ou coeficiente de Kurtosis (b_2) que caracteriza o achatamento da curva da função, a qual pode ser classificada como:

Leptocúrtica ($b_2 > 0$), função cuja distribuição é mais afunilada do que a normal
 Mesocúrtica ($b_2 = 0$), função cuja distribuição tem o mesmo achatamento da normal
 Platicúrtica ($b_2 < 0$), função cuja distribuição é mais achatada do que a normal

O coeficiente de achatamento de Fisher (b_2) define-se por:

$$b_2 = \frac{n(n-1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

onde n , x , \bar{x} , s têm o significado anterior.

O coeficiente de variação define-se pelo quociente entre o desvio padrão e a média dos valores em análise, sendo frequentemente apresentado como percentagem e é uma medida de dispersão que permite caracterizar a variação da distribuição de frequências.

À medida que as árvores do povoamento se desenvolvem, a competição intensifica-se, as árvores dominadas morrem, podendo-se atingir o auto-desbaste. Em povoamentos puros equiênicos, em situação de copado contínuo, a mortalidade está dependente da densidade e pode ser expressa pela linha de auto-desbaste ou Lei dos 3/2 formulada por Yoda et al. (1963). Esta Lei, inicialmente descrita pela relação entre a densidade (N , número de árvores vivas por hectare) e a biomassa da árvore média, também pode ser expressa pela dimensão média (dg , diâmetro quadrático médio) e diz que a taxa relativa de desenvolvimento

de N é proporcional à taxa relativa de crescimento de dg podendo, por integração, ser definida por:

$$N = a dg^b$$

Reineke (1933) verificou que a relação entre o logaritmo de N e o logaritmo de dg , para povoamentos “bem lotados” era geralmente linear e aplicando-a a espécies florestais de povoamentos localizados na costa oeste dos EUA verificou que, em povoamentos com a lotação máxima (em auto-desbaste), esta reta tinha um declive próximo de -1.605, definindo a linha de auto-desbaste:

$$\log_{10} N = -1,605 \log_{10} dg + k$$

sendo N , o número de árvores por hectare, dg , o diâmetro quadrático médio e k , uma constante dependente da espécie. A esta reta chamou curva de referência.

O auto-desbaste define a densidade máxima a partir da qual começa a ocorrer mortalidade provocada pela competição estabelecida ao nível das árvores do povoamento (Westoby, 1984). As espécies tolerantes ao ensombramento tendem a apresentar valores mais baixos para o declive e valores de ordenada na origem mais altos (Harper, 1977). A mortalidade, para a mesma idade, será maior nas estações pertencentes a classes de produtividade mais elevadas, nas quais os povoamentos evoluem mais rapidamente (Oliveira, 1985b). Westoby (1984) refere que só se devem considerar sobre a linha de auto-desbaste os povoamentos cuja mortalidade natural tenha atingido os 20%.

Para o pinheiro bravo, em Portugal, estão definidas linhas de auto-desbaste com valores para o declive da reta próximos dos indicados por Reineke (1933):

(a) -1, 516 (Oliveira, 1985a), para as regiões montanas e sub-montanas

$$\ln N = -1,516 \ln dg + 11,418$$

(b) -1,815 (Luís e Bento, 1991), definido com dados do inventário florestal nacional

$$\ln N = -1,815 \ln dg + 12,554$$

(c) -1,897 (Luís e Fonseca, 2004), definido com dados do inventário florestal nacional

$$\ln N = -1,897 \ln dg + 13,634$$

(d) -1,689 (M. Tomé, www.forestmodels.eu, consultado em janeiro de 2019)

$$\ln N = -1,689 \ln dg + 11,7857$$

A alometria das árvores, ou seja, a relação entre as dimensões de diferentes componentes das árvores, não só tem uma grande influência na estrutura do povoamento, na sua dinâmica e na sua competitividade, como é também determinada por ela (Pretzsch, 2014).

Determinar de que forma a variabilidade na alometria é influenciada pela competição inter e intraespecífica, tanto ao nível da árvore como ao nível do povoamento, é um tema de grande interesse tanto na silvicultura como na modelação florestal (del Río et al., 2019). As árvores que crescem em condições de grande competição têm geralmente copas com menor amplitude e menor comprimento, maior altura e menor forma cônica para um determinado diâmetro (Larson, 1963; Mäkelä e Vanninen, 1998, Baldwin et al., 2000; Karlsson, 2000). No entanto, a plasticidade da alometria em resposta à competição varia consideravelmente com a espécie e com o tipo de competição (Thorpe et al., 2010; Lines et al., 2012; Pretzsch, 2014; Forrester et al., 2017).

Donald (1968) considerou que povoamentos com ideótipos de cultura (modelo conceitual de uma planta cujas características são aprimoradas para determinada utilização, com base na sua forma e função de cultura) conseguiam provavelmente produzir mais do que povoamentos com ideótipos de “isolamento e competição”. Ford (1976) e Cannell (1978) defendem que as vantagens de utilizar ideótipos de cultura na silvicultura são grandes ao nível da produção por hectare, pois utilizam o espaço de forma eficiente.

A competição intergenotípica é, provavelmente, o tema menos estudado no campo da dinâmica do crescimento florestal (Libby et al., 1969; Adams, 1980). O crescimento de culturas emparelhadas na agricultura traduz-se em vantagens e processos de complementaridade, algo surpreendente dada a extensa variedade de culturas e as grandes produtividades individuais (Adams, 1980). Uma abordagem ao estudo da competição intergenotípica nas florestas foi a comparação de povoamentos mistos com povoamentos puros clonais (Sakai e Mukaide, 1967; Sakai et al., 1968; Hühn, 1969, 1970). Sakai et al. (1968) sugeriram que, nos povoamentos clonais, quando comparados com povoamentos não clonais, existia menos competição, sendo a competição definida como a redução do crescimento de um indivíduo relativamente ao adjacente, o que os levou à conclusão de que não existia praticamente competição em povoamentos estagnados, o que não faz grande sentido. Uma alternativa mais plausível para quantificar a competição é comparar o crescimento de um indivíduo em povoamento com o crescimento de um indivíduo isolado (Ritters, 1985) ou comparar o crescimento de maneira a que os genótipos em competição variem, mas mantendo constante o número total de árvores (de Wit, 1960).

Perry (1985) aborda três estudos que analisam os genótipos de três espécies. Adams et al. (1973) testou todas as combinações emparelhadas de quatro famílias de *Pinus taeda*: quatro combinações registaram um aumento de produção, duas registaram valores neutros (não existiu diferença na produção entre a mistura dos genótipos e os genótipos individualmente) e duas registaram uma diminuição de produção. Ainda neste estudo,

verificou-se que genótipos aparentados (meios irmãos) apresentavam valores de crescimento neutros. Adams e Demeritt (não publicado, citado em Adams, 1980) verificaram que as combinações de híbridos de *Populus* sp. clonais resultavam numa superprodução (2 em 15 pares), complementaridade (4 em 15 pares) ou neutralidade (9 em 15 pares). Tauer (1975) verificou resultados semelhantes em clones de *Populus trichocarpa*.

À exceção de Adams et al. (1973), os estudos acima mencionados tiveram a mesma limitação dos ensaios efetuados no ramo agronómico, pois nenhum dos genótipos apresentava historial de coevolução. Caso se verifique capacidade de combinação ecológica, mesmo que em baixa percentagem de clones combinados aleatoriamente, existe uma elevada probabilidade de se tornar um fator de influência no crescimento em povoamentos naturais (Schutz et al., 1968). As forças seletivas que promovem alterações na alocação de recursos desempenham, por vezes, papéis muito importantes. Este tópico foi abordado por Allard e Adams (1969), os quais demonstraram que cultivares que passaram dezoito gerações em misturas evoluíram de forma a terem mais produtividade em povoamentos mistos do que em povoamentos puros.

2.4. Efeito da competição intraespecífica nas variáveis da árvore e do povoamento

A bibliografia existente sobre a influência do compasso, e consequentemente, da competição nas variáveis da árvore e do povoamento é muito vasta, salientando-se os trabalhos de Sjolte-Jorgensen (1967) e Hamilton e Christie (1974). O primeiro autor apresenta e interpreta os resultados de um estudo sobre a influência do compasso no crescimento e desenvolvimento de plantações de resinosas, anexando uma intensa lista de artigos subordinados ao tema com indicação do autor, país de origem, ano de publicação e espécie estudada. O segundo trabalho referido envolve uma análise aprofundada de uma série de ensaios de compassos instalados nos períodos 1921-24 e 1935-36 pela *Forest Commission* britânica e que cobriu a maior parte das espécies comerciais com possibilidade de utilização nas ilhas Britânicas.

O conceito de potencialidade produtiva de um sistema de produção lenhosa envolve a influência de três tipos de fatores determinantes do crescimento: a potencialidade produtiva específica, a qualidade de estação e a intensidade de intervenção produtiva (Alves, 1988). A determinação da classe de qualidade a partir do crescimento em altura das árvores mais grossas ou altas do povoamento é o método indireto mais geralmente utilizado para se definir a qualidade da estação nos modelos de crescimento florestal (Tomé, 1988). O uso da altura

está relacionado com o facto de esta ser uma variável pouco afetada pela densidade nos compassos normalmente utilizados na gestão de povoamentos florestais. A determinação da classe de qualidade faz-se, geralmente, com recurso à altura dominante, uma variável caracterizadora do povoamento, que pode ser definida de várias formas, mas refletindo sempre a altura média das árvores mais grossas ou mais altas do povoamento (Philip, 1994). Assume-se assim que a classe de qualidade é a altura dominante a uma idade próxima da idade de corte.

Segundo o trabalho de Smith (1986), o crescimento em altura dominante é independente da densidade do povoamento, com exceção das densidades extremas, as quais representam grandes intensidades competitivas ou de sublotação da estação. Estudos efetuados com base em dados provenientes de ensaios de compassos de *Eucalyptus globulus* Labill. instalados em Portugal (ex., Soares et al., 1996; Carvalho, 1999), sugerem a independência da altura dominante em relação ao compasso.

A área basal de um povoamento define-se pela soma das áreas seccionais medidas a 1,30 m de altura de todas as árvores existentes numa determinada área. A área basal mantém-se proporcional ao número de árvores ha^{-1} enquanto o diâmetro não for afetado pelo compasso. Quando se inicia a competição, o crescimento em área basal é retardado para os compassos mais apertados. Se o nível de competição atingido apresentar mortalidade natural, então o crescimento em área basal poderá ser fortemente reduzido, podendo mesmo chegar a decrescer num estágio final (Smith e Strub, 1991).

A ideia geral de que a produção em volume diminui com o aumento do compasso não significa que compassos muito apertados se associem a maiores produções de volume em todos os casos, uma vez que o decréscimo irá sempre depender das condições de crescimento. Sjolte-Jorgensen (1967) observou uma relação entre volume e classe de qualidade, com diferenças entre compassos menos acentuadas para estações menos produtivas; em estações muito pobres pode haver aumento na produção em volume total com o aumento do compasso.

2.5. Ensaios de compassos

O conhecimento dos fatores que influenciam o desenvolvimento e crescimento dos povoamentos e das relações que se estabelecem entre as variáveis desses povoamentos é fundamental para a definição de modelos de silvicultura e para a modelação florestal. É assim essencial ter dados de crescimento e produção para as principais espécies da floresta portuguesa. Esses dados podem ter origem em medições realizadas em parcelas

permanentes, em ensaios com delineamento ou serem provenientes de inventários florestais contínuos (Figura 2). Os ensaios vão definir as relações existentes entre o crescimento e os tratamentos silvícolas aplicados e testar situações extremas, com o objetivo, entre outros, de obter informação fundamental para a definição de curvas de resposta em modelos de produção, apesar de, por vezes, se reconhecer a inviabilidade prática dessas situações (Vanclay, 1994).

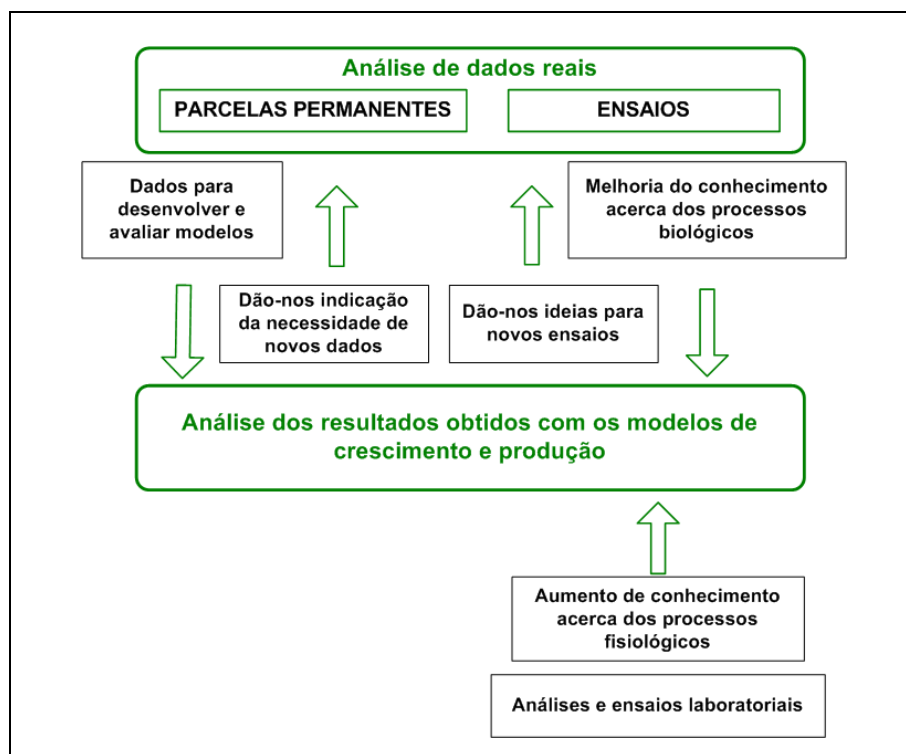


Figura 2. Interligação entre modelos de produção e dados obtidos em parcelas permanentes, ensaios de campo e experiências realizadas em laboratório (M. Tomé, www.forestmodels.eu, consultado em janeiro de 2019).

A instalação de um ensaio de compassos pressupõe a seleção da estrutura experimental mais adequada para a espécie e para as condições de relevo e de clima da região. No entanto, existem opções relacionadas com o número de árvores e com a dimensão da parcela que, apesar de não estarem diretamente associadas à estrutura experimental, deverão ser consideradas (Carvalho, 1999). Assim, pode optar-se por:

- a) número diferente de plantas por parcela em parcelas com a mesma dimensão;
- b) número igual de plantas úteis por parcela em parcelas com a mesma dimensão;
- c) número igual de plantas por parcela em parcelas com diferente dimensão.

Lin e Morse (1975) referem que, do ponto de vista estatístico, a escolha deveria ser feita entre a) e b) mas que, do ponto de vista económico, em termos de plantas utilizadas e

de área de terreno ocupada, a opção c) é a mais aconselhada. Se o objetivo principal dos ensaios for analisar a influência do compasso na produção do povoamento, então a precisão da estimação da produção por hectare será maior quando se basear em parcelas com a mesma dimensão. As parcelas de dimensão diferente poderão tornar a análise estatística mais complexa, no caso em que as componentes da variância não possam ser assumidas como homogêneas.

A definição da dimensão da parcela é uma questão ambígua. Por um lado, as parcelas não devem ser excessivamente pequenas, uma vez que tal resultaria em estimativas enviesadas dos parâmetros do povoamento; mas, por outro lado, devem ser suficientemente pequenas de modo a garantirem a homogeneidade, quer ao nível da parcela quer ao nível do bloco (Vanclay, 1994). De facto, a diminuição do erro experimental pode ser conseguida através da utilização de parcelas pequenas homogêneas. No entanto, parcelas de dimensão muito reduzida não são desejáveis, podendo condicionar a utilização da informação proveniente dos ensaios, especialmente quando o principal objetivo for a modelação do crescimento (Curtis, 1983).

Adlard (1993) aponta o facto de muitos dos ensaios de compassos existentes testarem apenas densidades que se enquadram nas práticas de gestão habituais, não contemplando quer os compassos extremamente apertados (que originam mortalidade dependente da densidade), quer os compassos extremamente largos (que expressam o crescimento na ausência de competição). Também Vanclay et al. (1993) referem a necessidade de se testarem situações extremas quer ao nível da densidade quer da intensidade de desbastes e da idade da rotação. Os autores propõem uma metodologia gráfica simples que permite avaliar os dados existentes e identificar as áreas de informação deficiente. Os gráficos do índice de qualidade da estação *versus* idade e da densidade do povoamento *versus* dimensão da árvore podem ser bons indicadores das estações e das condições do povoamento.

3. Ensaio de compassos de pinheiro bravo de Vale de Cavalos

No âmbito do projeto PBIC/C/AGR/1482/92 “Competição em povoamentos florestais sob diferentes situações de *stress* ambiental”, foi instalado, em novembro de 1994, um ensaio de compassos de pinheiro bravo no Perímetro Florestal de S. Miguel e S. Lourenço, em Vila Nova de Paiva, distrito de Viseu, em terrenos sob gestão do atual ICNF (Figura 3).

A área de instalação do ensaio é tipicamente uma área de pinheiro bravo, sendo esta a espécie florestal dominante na região, a qual está inserida no PROF Centro Litoral (Portaria n.º 56/2019 - DR n.º 29/2019, Série I de 2019-02-11).

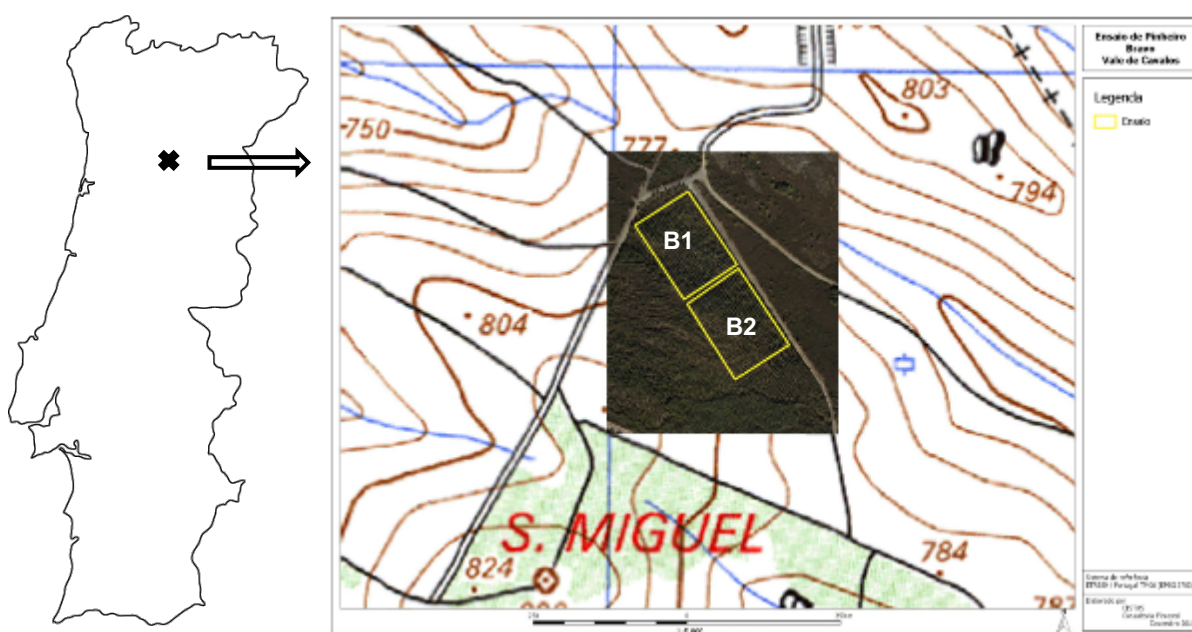


Figura 3. Localização do ensaio de compassos de Vale de Cavalos – Perímetro Florestal de S. Miguel e S. Lourenço (B1 – bloco 1; B2 – bloco 2).

Em termos climáticos, a área de localização do ensaio, situada a uma altitude de 780 m, caracteriza-se por:

- número de dias de precipitação (anual): 125 (Daveau et al., 1977)
- número de dias de geada (anual): 55 (Atlas Digital do Ambiente)
- precipitação anual: 1500 mm (Daveau et al., 1977)
- temperatura média anual: 11,3 °C (Atlas Digital do Ambiente)
- tipo de verão: moderado (Daveau, 1985)
- tipo de inverno: frio (Daveau, 1985).

O ensaio tem um delineamento experimental em blocos casualizados com 2 blocos (Figura 4), sendo cada bloco caracterizado por apresentar 2 compassos na entrelinha - 3 e 4 metros - e 4 compassos na linha - 1, 2, 3 e 4 metros - dos quais resulta uma combinação fatorial de compassos correspondente a 8 parcelas de diferente área, mas com igual número de árvores (Figura 4, Tabela 1). Cada parcela é constituída por 49 árvores úteis (7 x 7 árvores) rodeadas por 2 linhas de bordadura. A densidade à plantação varia entre as 625 e as 3333 árvores por hectare. O facto das parcelas terem área diferente resulta num número de árvores dominantes também diferente (Tabela 1), a variar entre 1 e 8 árvores. As árvores dominantes são as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare.

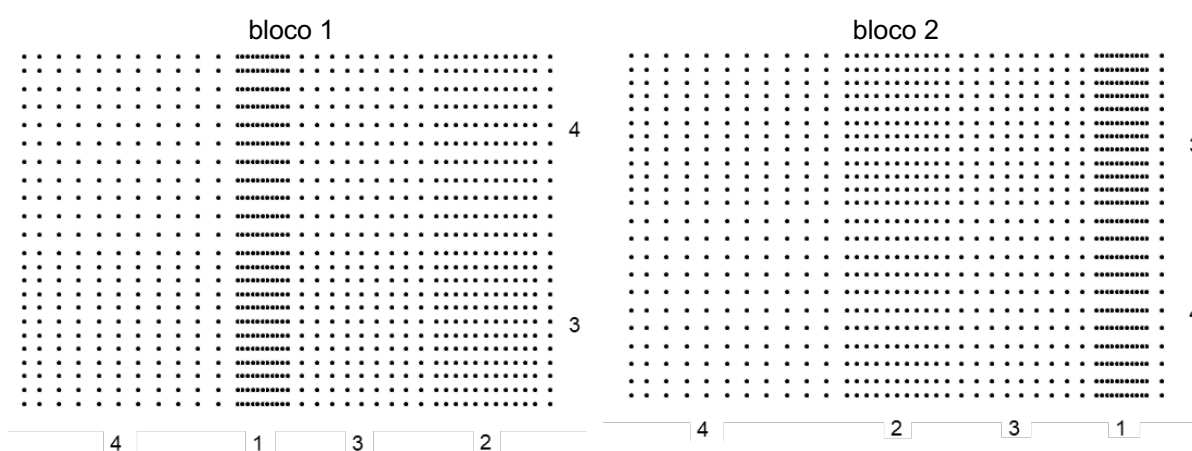


Figura 4. Esquema geral do ensaio de compassos de Vale de Cavalos.

Tabela 1. Caracterização do ensaio de compassos de Vale de Cavalos.

compasso (mxm)	área útil (m ²)	nº árvores dominantes	Npl (ha ⁻¹)	S – B1 (m)	S – B2 (m)
1x3	147	1	3333	21,9	23,1
1x4	196	2	2500	21,8	21,2
2x3	294	3	1667	20,2	18,1
2x4	392	4	1250	22,5	23,7
3x3	441	4	1111	20,9	20,2
3x4	588	6	833	21,3	21,7
4x3	588	6	833	22,4	19,0
4x4	784	8	625	20,5	21,8

nº árvores dominantes: árvores mais grossas da parcela na proporção de 100 árvores por hectare; Npl, número de árvores à plantação por hectare; S, índice de qualidade da estação - altura dominante (estimada com Tomé (2001)) aos 50 anos; B1, bloco 1; B2, bloco 2.

O ensaio foi medido sete vezes desde a instalação (Tabela 2); nas duas primeiras medições nenhuma das árvores tinha atingido 1,30 m de altura, pelo que não foram registados valores de diâmetro. Em todas as medições foram registadas observações sobre a forma e o estado sanitário das árvores úteis da parcela. O ensaio foi retanchado duas vezes: em novembro de 1995 e em março de 1996. Está localizado numa encosta suave (Figura 5).

Tabela 2. Intervenções e medições do ensaio de compassos de Vale de Cavalos.

plantação: novembro de 1994		
medição	idade (anos)	variável medida/operação realizada
novembro 1995	1,0	h de todas as árvores
novembro 1995	1,0	retancha
março 1996	1,3	retancha
outubro 1996	1,9	h de todas as árvores
novembro 1997	3,0	h de todas as árvores
novembro 1998	4,0	h de todas as árvores
dezembro 1999	5,0	h de todas as árvores; d das árvores úteis
julho 2010	15,7	d cruzado de todas as árvores; h e hbc das árvores úteis
julho 2016	21,7	d cruzado de todas as árvores; h e hbc das árvores úteis



Figura 5. Aspeto do ensaio de compassos de Vale de Cavalos; fotografias de a) julho 2016 e b) janeiro 2019, após limpeza de matos.

4. Metodologia

A análise do efeito da competição nas características e desenvolvimento dos povoamentos de pinheiro bravo no ensaio de Vale de Cavalos baseou-se na análise de:

- a) alterações na estrutura dos povoamentos relacionados com a competição intraespecífica. Assim, caracterizam-se, por bloco e compasso, nas várias medições, as distribuições de frequências em diâmetro e em altura através do cálculo dos coeficientes de forma (coeficiente de assimetria e achatamento) e da evolução da variabilidade (coeficiente de variação) e da análise da evolução temporal dos histogramas.

Os histogramas para o diâmetro das árvores têm classes de 2 cm de amplitude e para a altura das árvores têm classes de 1 m. Foram calculadas as médias móveis para cada distribuição de diâmetros, para tornar mais fácil a visualização das distribuições. As médias móveis foram calculadas com o programa Excel. Calcularam-se médias móveis simples de 2 frequências contíguas com recurso à seguinte fórmula:

$$MA(2)_{i+1} = \frac{f_i + f_{i+1}}{2}$$

onde f_i representa a frequência relativa.

Analizou-se, também, por bloco e compasso, a presença de mortalidade dependente da densidade (auto-desbaste), bem como a distribuição espacial das árvores mortas e das árvores dominantes dos povoamentos.

- b) variáveis da árvore e do povoamento. Analisou-se a evolução temporal, por bloco e compasso, de:

- altura média e diâmetro quadrático médio das árvores dominantes;
- variáveis de densidade do povoamento: densidade (número de árvores vivas por hectare) e área basal por hectare;
- variáveis do povoamento: volume total, volume mercantil e acréscimo médio anual em volume total;
- variáveis médias da árvore: diâmetro, altura, volume, proporção de copa e coeficiente de adelgaçamento.

Na Tabela 3 encontram-se listadas as variáveis calculadas com base em dados recolhidos em campo ou estimadas com recurso a equações específicas para o pinheiro bravo

disponíveis na literatura. Distinguem-se as variáveis da árvore, da árvore média e do povoamento. Estas últimas são, geralmente, somatórios de variáveis da árvore, expressos ao hectare.

Tabela 3. Definição das variáveis da árvore e do povoamento.

variável	fórmula	descrição
variáveis da árvore		
cl	h-hbc	comprimento de copa (m)
cr	$\frac{h-hbc}{h}$	proporção de copa
d	-	diâmetro com casca a 1,30 m (cm)
d _i	-	diâmetro de despona com casca (cm)
dq	d ²	diâmetro quadrático (cm ²)
g	$\frac{\pi}{4} d^2$	área seccional ou área basal da árvore (cm ²)
h	-	altura total (m)
hbc	-	altura da base da copa (m)
h/d	$\frac{h}{d}$	coeficiente de adelgaçamento
hst	-	altura do cepo (m)
h_st	-	altura sem cepo (m)
vu_st	$0,000031d^{1,902054}h_{st}^{1,062496}$	volume sem casca e sem cepo (m ³) (Nunes et al., 2010)
vst	$0,000098d^{1,986915}h_{st}^{0,937036}$	volume do cepo com casca (m ³) (Nunes et al., 2010) (hst=0,10 m)
v_st	$vu_{st} + 0,000030d^{2,057220}h_{st}^{0,496504} + 0,000008d^{2,212386}h_{st}^{-0,069488}$	volume com casca e sem cepo (m ³) (Nunes et al., 2010)
v	$\frac{\pi \left(\frac{d}{100}\right)^2 h}{3}$	volume total (m ³) para árvores pequenas (cone)
v	v_st + vst	volume total (m ³) (Nunes et al., 2010)
vr _{di}	$v e^{-1,152\left(\frac{d_i}{d}\right)^{3,7455}}$	volume percentual com casca (m ³), função do diâmetro de despona d _i (Alegria, 2004); d _i =7 cm com casca
vm _{di}	vr _{di} -vst	volume mercantil com casca (m ³), função do diâmetro de despona d _i
variáveis da árvore média e médias da árvore		
\bar{h}	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$	altura (m)
dg	$\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{n}}$ ou $\sqrt{\frac{4 G}{\pi N}} 100$	diâmetro da árvore de área seccional média (cm)

Tabela 3. Definição das variáveis da árvore e do povoamento (cont).

variável	fórmula	descrição
variáveis do povoamento		
ddom	$\sqrt{\sum_{i=1}^{ndom} \frac{d_i^2}{ndom}}$	diâmetro dominante (cm) ndom=int(100/10000 x area parcela+0,5)
G	$\frac{\pi}{40000} \times \frac{10000}{area\ parcela} \sum_{i=1}^n d_i^2$	área basal (m ² ha ⁻¹)
hdom	$\frac{1}{ndom} \sum_{i=1}^{ndom} h_i$	altura dominante (m)
S	$69 \left[\left(\frac{hdom}{69} \right)^{\left(\frac{t}{50} \right)^{0,458203}} \right]$	índice de qualidade de estação (m) (Tomé, 2001)
mai	$\frac{V}{t}$	acréscimo médio anual (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
N	$\frac{n \times 10000}{area\ parcela}$	número de árvores vivas (ha ⁻¹)
t	-	idade (anos)
V	$\frac{10000}{area\ parcela} \sum_{i=1}^n v_i$	volume total (m ³ ha ⁻¹)
Vm	$\frac{10000}{area\ parcela} \sum_{i=1}^n (vmdi_i)$	volume mercantil (m ³ ha ⁻¹)

5. Resultados e discussão

5.1. Efeito da competição intraespecífica na estrutura do povoamento

Distribuição de frequências para o diâmetro da árvore

Nas Figuras 6 a 9, apresentam-se as distribuições de frequências por classe de diâmetro, para as idades 16 e 22 anos, para ambos os blocos e para os compassos 1x3 e 1x4, 2x3 e 2x4, 3x3 e 3x4, 4x3 e 4x4.

Para ambos os compassos se observam valores do coeficiente de variação positivos, embora muito próximos de zero, e praticamente constantes de 2010 para 2016.

Observam-se nos blocos 1 e 2, respetivamente, valores negativos crescentes e decrescentes para o coeficiente de assimetria, resultado de uma diferenciação crescente das árvores distribuídas pelas classes de diâmetro inferior para o bloco 1, e de uma diferenciação crescente das árvores distribuídas pelas classes de diâmetro superior para o bloco 2. A maior diferenciação das árvores do povoamento não é acompanhada por valores mais elevados do coeficiente de variação; a dispersão em relação ao valor médio é praticamente constante nos anos analisados, contribuindo, para tal, o aumento do valor médio da distribuição e a mortalidade ocorrida ao nível das árvores dominadas.

O desenvolvimento das médias móveis associadas a cada distribuição mostra, para o compasso 1x3 do bloco 1, a presença de distribuições multimodais, indicadoras de grupos distintos de árvores dominantes/dominadas, um dos efeitos mais característicos da competição intraespecífica (Figura 6); esta mesma distribuição multimodal volta a verificar-se nos compassos 2x4 (Figura 7), 3x4 (Figura 8) e 4x3 (Figura 9).

Por análise dos dados ao nível da árvore, observa-se maior mortalidade nas classes de diâmetro inferiores; as árvores, dessas classes, que sobreviveram, apresentam taxas de crescimento nulas ou muito pequenas, ainda sendo, no entanto, possível detetar alguma dinâmica ao nível das árvores dominadas com transições entre classes.

Nos compassos 2x3 e 2x4, de ambos os blocos, à semelhança dos compassos 1x3 e 1x4 do bloco 2, observa-se o desenvolvimento típico de monoculturas equiênias (Ford, 1975; West, 1980, 1981; West e Borough, 1983). Ou seja, uma distribuição de diâmetros inicial assimétrica negativa, passagem por uma distribuição próxima da normal e, em estádios de desenvolvimento caracterizados por intensa competição intraespecífica, distribuições assimétricas positivas associadas a grupos distintos de árvores dominantes/dominadas acompanhadas por valores de mortalidade significativos no grupo das dominadas.

Nos compassos mais largos (Figura 9), em ambos os anos analisados, as percentagens de mortalidade são relativamente pequenas, com as árvores de pequena dimensão a apresentarem reduzido crescimento em diâmetro e, raramente, nulo.

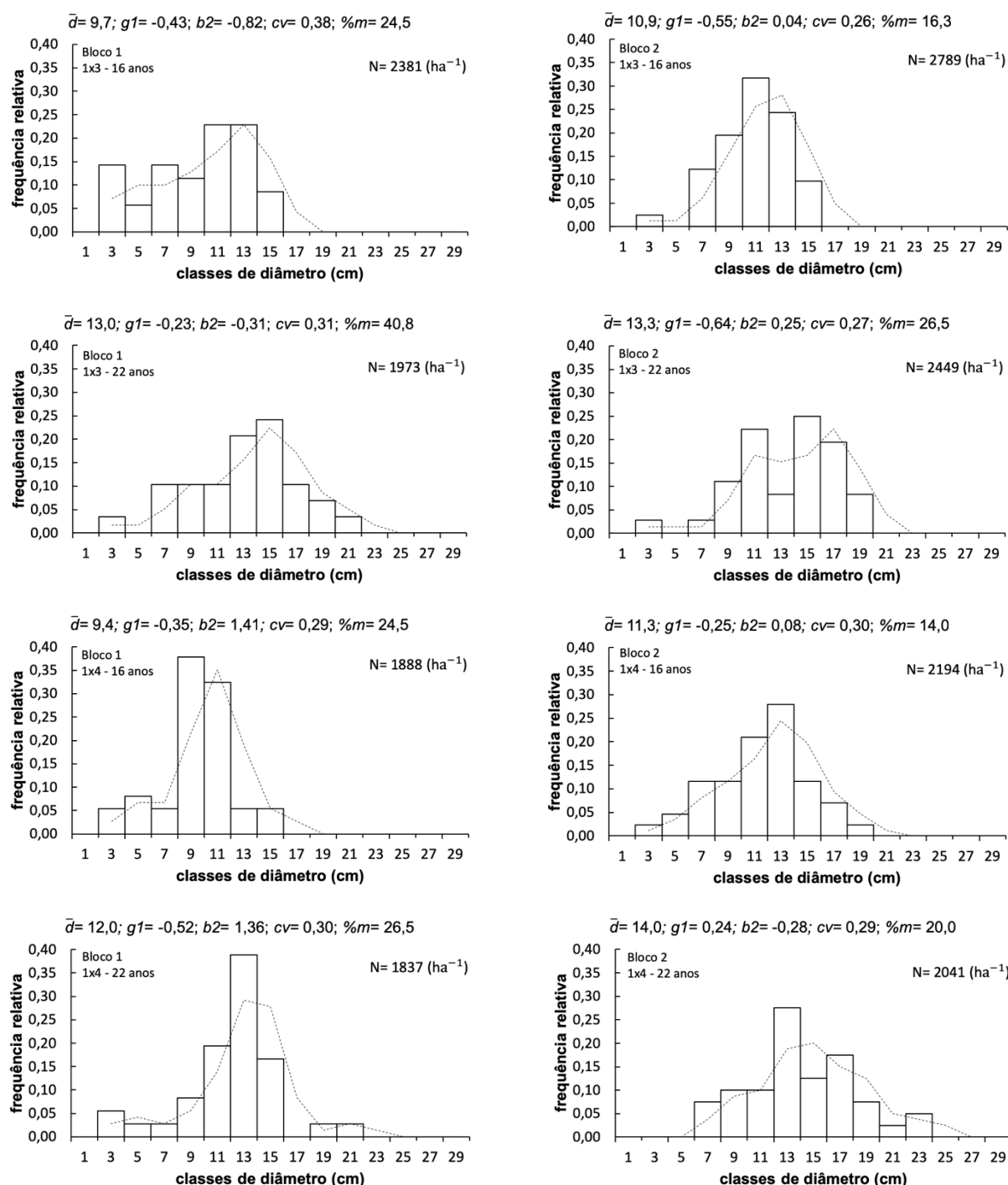


Figura 6. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 1x3 e 1x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; %m, percentagem de mortalidade na parcela em relação à plantação.

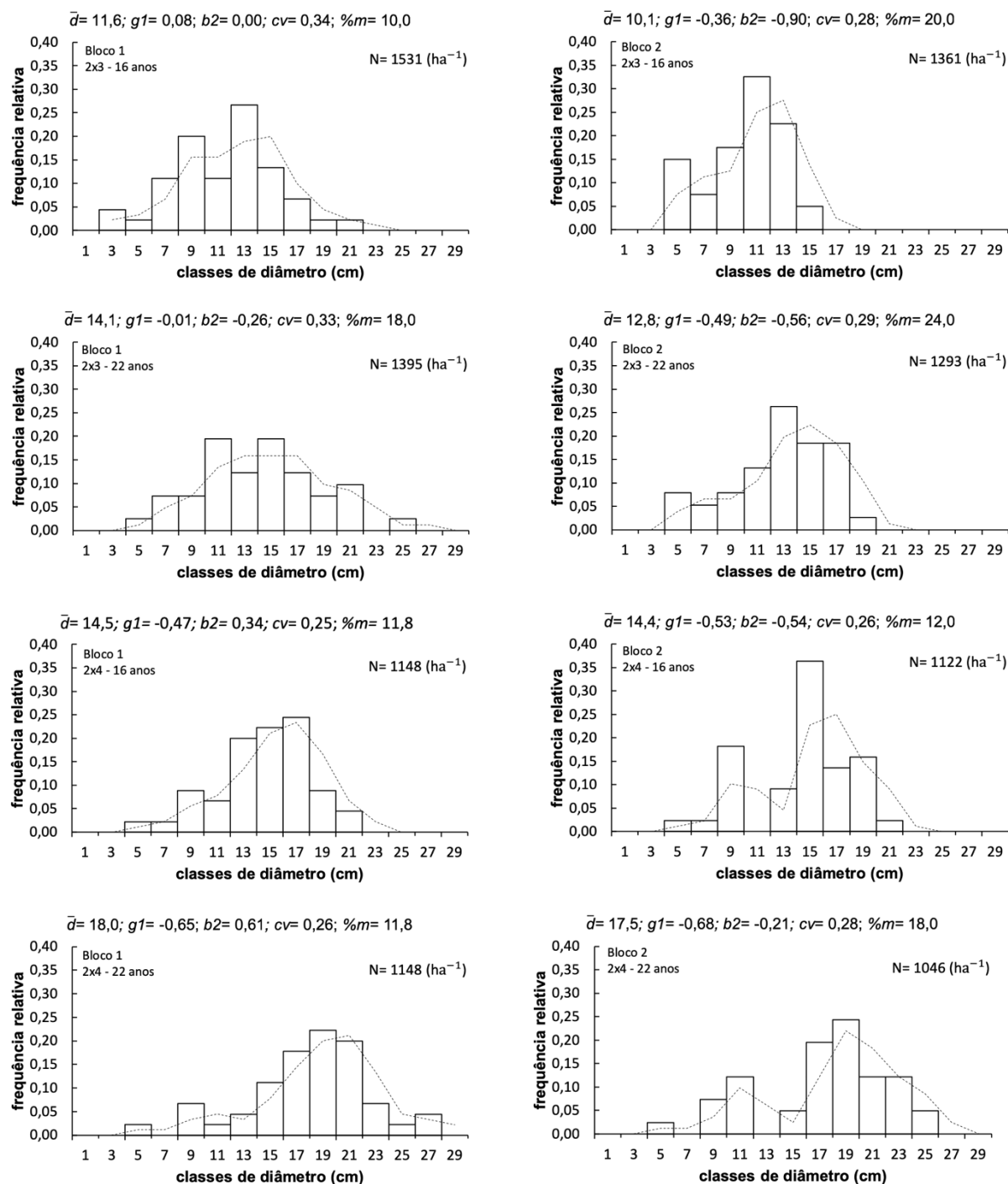


Figura 7. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 2x3 e 2x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; $\%m$, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.

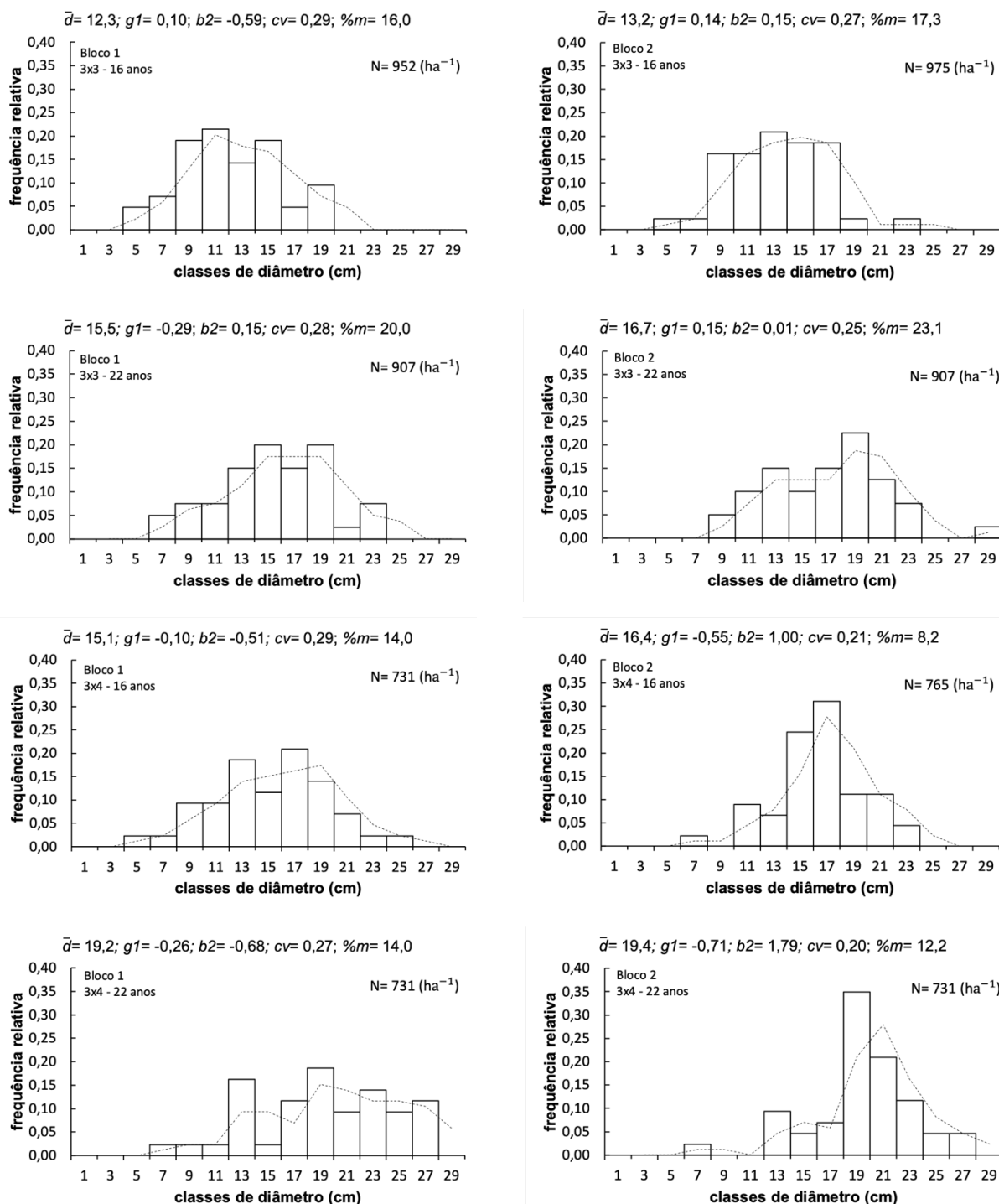


Figura 8. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 3x3 e 3x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas para a população, respectivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; $\%m$, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.

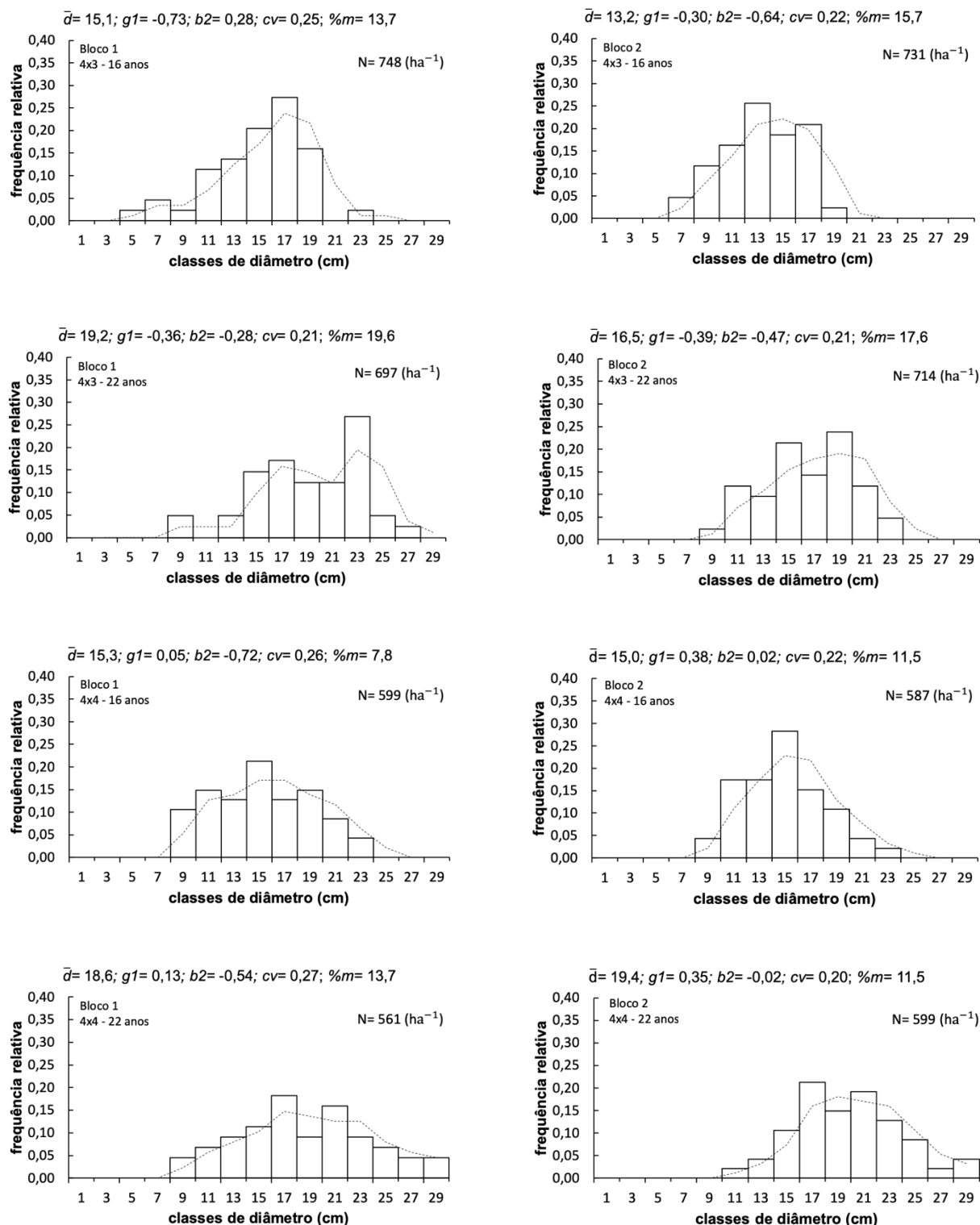


Figura 9. Distribuição de frequências por classe de diâmetro nos compassos 4x3 e 4x4, em ambos os blocos, para os 16 e os 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias móveis associadas às distribuições; \bar{d} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas para a população, respectivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; $\%m$, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.

Analisando a totalidade do ensaio de Vale de Cavalos, observa-se, com o aumento da densidade (compassos mais apertados), e por medição,:

- valores de diâmetro médio mais baixos;
- valores de diâmetro mínimo mais baixos;
- valores de diâmetro máximo mais baixos;
- percentagens de mortalidade, em relação à densidade à plantação, mais altas;
- valores do coeficiente de variação mais elevados;
- valores negativos do coeficiente de assimetria, o que corresponde a distribuições de diâmetros com cauda à esquerda, resultantes da presença de árvores vivas nas classes de diâmetros mais baixas.

Nos primeiros anos após a plantação (3 e 4 anos), observa-se um desenvolvimento em altura contrário nos dois blocos (Figura 10). A distribuição aleatória dos compassos nos dois blocos, resultante da casualização dos compassos na linha e na entrelinha, ajuda a revelar a não homogeneidade do solo, permitindo identificar as parcelas onde as condições são, aparentemente, menos favoráveis ao crescimento (valores do índice de qualidade da estação na Figura 10). Tal faz com que as diferenças observadas no desenvolvimento em altura não sejam, nesta fase inicial de desenvolvimento, consequência do compasso. As duas retanchas efetuadas neste ensaio (Tabela 2), aos 1 e 1,3 anos, podem contribuir para justificar as diferentes percentagens de árvores com mais de 1,30 m de altura nas medições efetuadas aos 3 e 4 anos no ensaio (Tabela 4). As percentagens de árvores retanchadas foram muito elevadas nos dois blocos, atingindo valores máximos de 69,4% no compasso 3x4 do Bloco 1 e de 55,1% nos compassos 1x4 e 4x4 do Bloco 2.

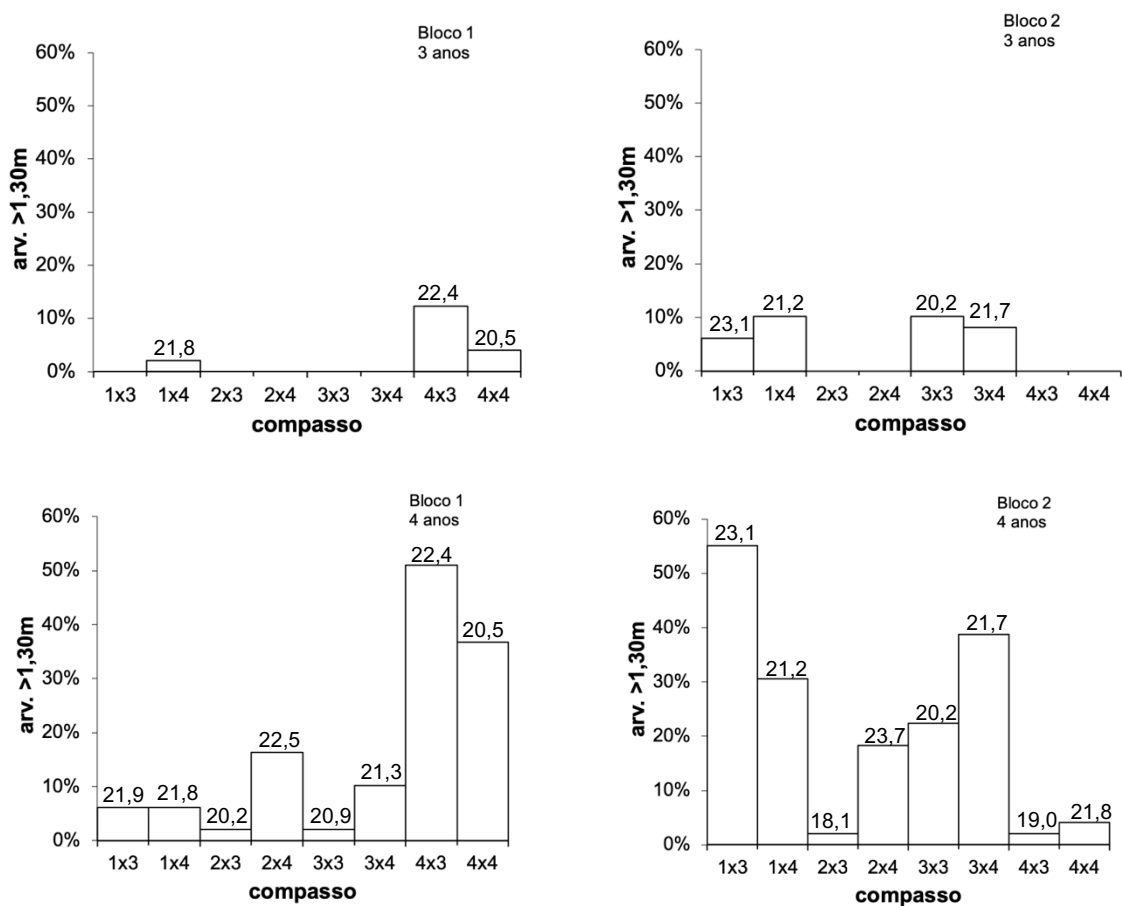


Figura 10. Percentagem de árvores com altura superior a 1,30 m, para medição de diâmetro, aos 3 e 4 anos. Indica-se o índice de qualidade da estação (em metros) para cada uma das parcelas.

Tabela 4. Percentagens de árvores retanchadas, por compasso e por bloco, na totalidade das duas retanchas efetuadas no ensaio de Vale de Cavalos.

compasso	B1 (%)	B2 (%)
1x3	44,9	30,6
1x4	40,8	55,1
2x3	44,9	36,7
2x4	36,7	44,9
3x3	40,8	36,7
3x4	69,4	46,9
4x3	26,5	30,5
4x4	10,2	55,1

Distribuição de frequências para a altura da árvore

Por análise das Figuras 11 e 12 verifica-se que, tal como seria de esperar nos primeiros anos, e não existindo ainda efeitos da competição intraespecífica, a distribuição das alturas é independente do compasso. No compasso 1x3, inicialmente, observa-se uma assimetria negativa resultante da existência de uma classe inicial com elevado número de árvores. A assimetria negativa associada ao compasso 1x3 é, até aos 5 anos, menos negativa do que a associada ao compasso 4x4, resultante do facto da altura média ser mais baixa e das classes de altura inferiores ao valor médio assumirem um peso menor na amplitude da distribuição das alturas. Aos 16 anos, a assimetria associada ao compasso 4x4 é positiva, com cauda à direita, resultado da maior diferenciação das árvores das classes associadas a maiores valores de altura. Nesta idade, para o compasso 1x3, observam-se assimetrias negativas, com cauda à esquerda, resultante da presença de árvores nas classes de menores valores de altura.

Na Figura 11, dos 2 aos 4 anos, os valores da altura média são sempre mais elevados no compasso mais largo, o que, considerando a ausência de competição, pode ser explicado pelas duas retanchas efetuadas nos primeiros 18 meses (percentagens de árvores retanchadas de 44,9% no compasso 1x3 e de 10,2% no compasso 4x4). No compasso 4x4 verifica-se que há uma concentração dos valores de altura e próxima da altura média, expressa pelos valores mais baixos do coeficiente de variação, o que pode ser explicado pelo facto de não existir necessidade grande de investir no crescimento em altura. Na análise das distribuições de altura não se verificam diferenças entre os blocos 1 e 2. Nos Anexos podem encontrar-se os gráficos das 6 medições efetuadas para todos os compassos de ambos os blocos.

Ao analisar-se a Figura 12 é possível detetar a presença de distribuições multimodais, indicadoras de grupos distintos de árvores dominantes/dominadas, um dos efeitos mais característicos da competição intraespecífica e que, neste estudo, também se verifica na distribuição de diâmetros. Nesta fase do crescimento, o desenvolvimento associado às árvores dominantes e dominadas condiciona o tipo de assimetria que caracteriza as distribuições de altura – assimetrias negativas, aos 16 e 22 anos, no compasso 1x3 e assimetrias positivas, para as mesmas idades, no compasso 4x4.

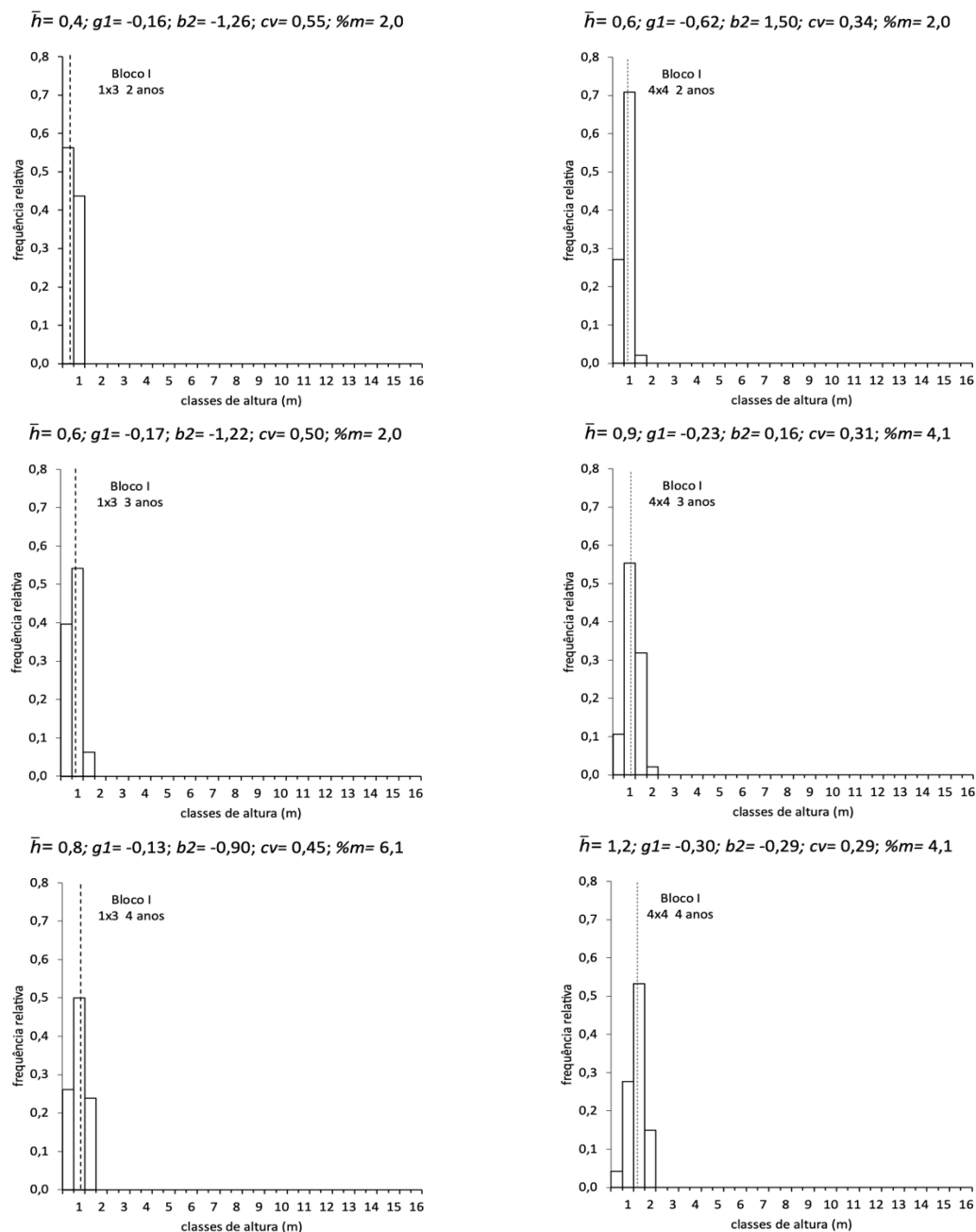


Figura 11. Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3 e 4x4, no bloco 1, para os 2, 3 e 4 anos; as linhas a tracejado representam as médias associadas a cada distribuição; \bar{h} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas para a população, respectivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; $\%m$, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.

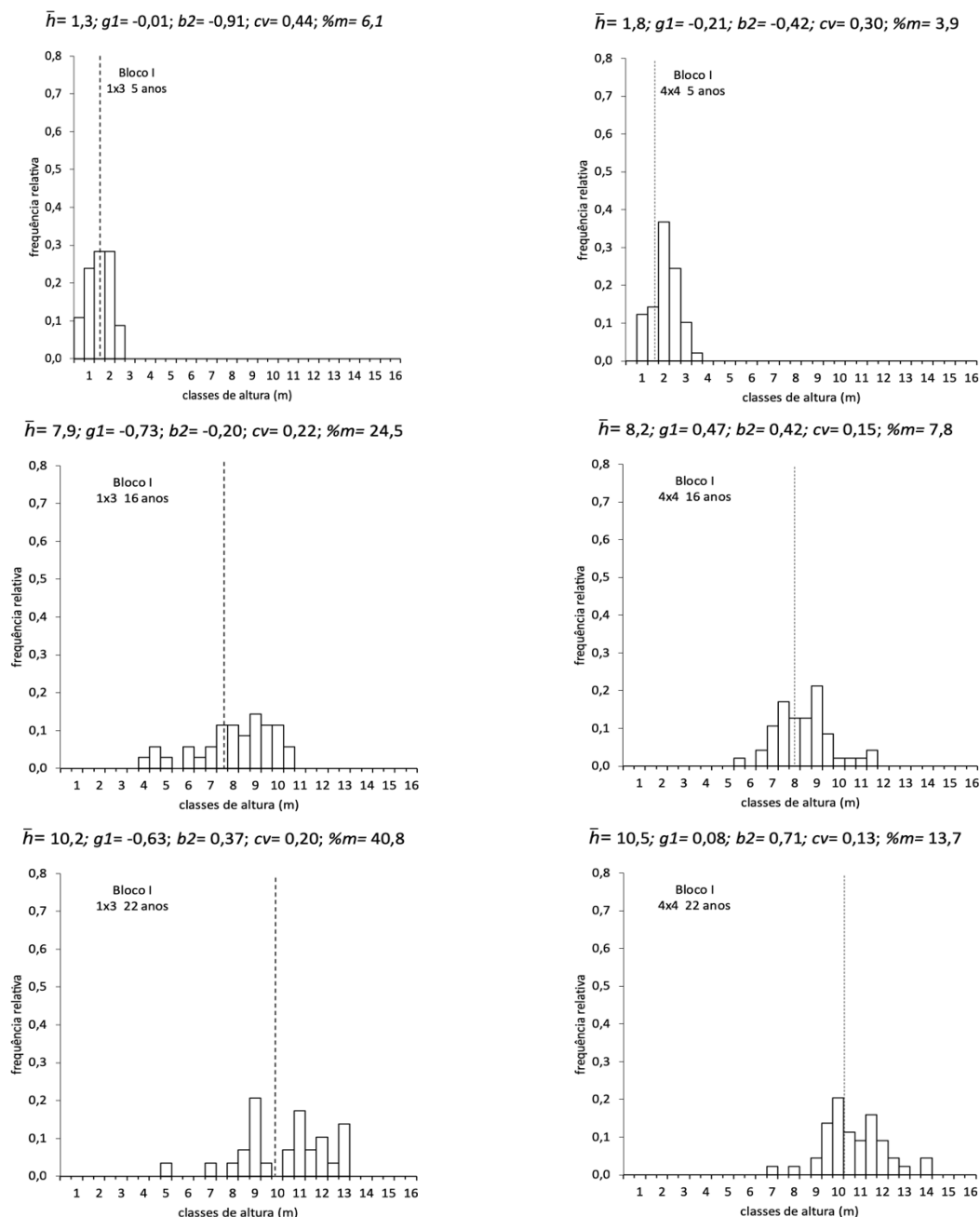


Figura 12. Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3 e 4x4, no bloco 1, para os 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam as médias associadas a cada distribuição; \bar{h} , g_1 , b_2 e cv são estimativas para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação; $\%m$, percentagem de mortalidade na parcela em relação à densidade à plantação.

Analisando a totalidade do ensaio de Vale de Cavalos, observa-se, com o aumento da densidade (compassos mais apertados), e por medição,:

- valores de altura média ligeiramente mais baixos;
- valores de altura mínima mais baixos;

- valores de altura máxima mais baixos;
- percentagens de mortalidade, em relação à densidade à plantação, mais altas;
- valores do coeficiente de variação mais altos;
- valores negativos do coeficiente de assimetria, o que corresponde a distribuições de alturas com cauda à esquerda, resultantes da presença de árvores vivas nas classes de altura mais baixas.

Mortalidade dependente da densidade (auto-desbaste)

Quando se analisam as Tabelas 5 a 7, é possível verificar a quase axiomática, e largamente comprovada, tendência para o aumento da mortalidade ao longo dos anos, nos mais variados compassos (Weiner e Thomas, 1986; Brand e Magnussen, 1988; Weiner, 1990; Soares et al., 1996; Carvalho, 1999; Forrester et al., 2017; del Río et al., 2019).

A mortalidade nos compassos mais apertados atingiu, aos 22 anos, 40,8% no bloco 1 e 26,5% no bloco 2, evidenciando que, nestas parcelas, já se alcançou o limite superior da capacidade máxima de biomassa. Na competição pela luz, ao nível do povoamento, a relação entre a competição e a mortalidade é largamente afetada pela tolerância ou intolerância da espécie ao ensombramento, algo que se verificou muito claramente neste estudo, sendo o pinheiro bravo uma espécie pioneira, altamente intolerante ao ensombramento e conduzida em alto fuste regular.

Tabela 5. Número de árvores vivas no bloco 1 do ensaio de compassos.

compasso	N (ha ⁻¹)					
	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	16 anos	22 anos
1x3	3265	3265	3129	3129	2517	1973
1x4	2449	2449	2449	2449	1888	1837
2x3	1667	1633	1531	1565	1531	1395
2x4	1224	1199	1199	1250	1148	1148
3x3	1066	1066	930	998	952	907
3x4	782	748	748	765	731	731
4x3	816	799	782	816	748	697
4x4	612	599	599	625	599	561

Nota: existem aumentos no número de árvores vivas dos 4 para os 5 anos uma vez que nesse intervalo as árvores bifurcadas passaram a ser consideradas árvores individuais.

Tabela 6. Número de árvores vivas no bloco 2 do ensaio de compassos.

compasso	N (ha ⁻¹)					
	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	16 anos	22 anos
1x3	3197	3197	3061	3061	2789	2449
1x4	2449	2449	2449	2500	2194	2041
2x3	1463	1463	1463	1497	1361	1293
2x4	1224	1224	1224	1250	1122	1046
3x3	1088	1088	1066	1134	975	907
3x4	816	816	816	816	765	731
4x3	765	765	748	782	731	714
4x4	599	587	548	599	587	587

Nota: existem aumentos no número de árvores vivas dos 4 para os 5 anos uma vez que nesse intervalo as árvores bifurcadas passaram a ser consideradas árvores individuais.

Tabela 7. Percentagem de mortalidade no ensaio de compassos de Vale de Cavalos para ambos os blocos.

compasso	% de mortalidade ao longo dos anos em relação à densidade à plantação											
	2 anos		3 anos		4 anos		5 anos		16 anos		22 anos	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
1x3	2,0	4,1	2,0	4,1	6,1	8,2	6,1	8,2	24,5	16,3	40,8	26,5
1x4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	24,5	14,0	26,5	20,0
2x3	0,0	12,2	2,0	12,2	8,2	12,2	8,0	12,0	10,0	20,0	18,0	24,0
2x4	2,0	2,0	4,1	2,0	4,1	2,0	3,9	2,0	11,8	12,0	11,8	18,0
3x3	4,1	2,0	4,1	2,0	16,3	4,1	12,0	3,8	16,0	17,3	20,0	23,1
3x4	6,1	2,0	10,2	2,0	10,2	2,0	10,0	2,0	14,0	8,2	14,0	12,2
4x3	2,0	8,2	4,1	8,2	6,1	10,2	5,9	9,8	13,7	15,7	19,6	17,6
4x4	2,0	4,1	4,1	6,1	4,1	12,2	3,9	9,6	7,8	11,5	13,7	11,5

Analisando a relação bilogarítmica entre a sobrevivência ao longo do tempo e o diâmetro da árvore de área seccional média (Figura 13), detetam-se vários pontos localizados acima da linha de auto-desbaste (M. Tomé, www.forestmodels.eu, consultada em janeiro 2019), o que indica que esta linha pode ter uma estimativa da ordenada na origem demasiado baixa.

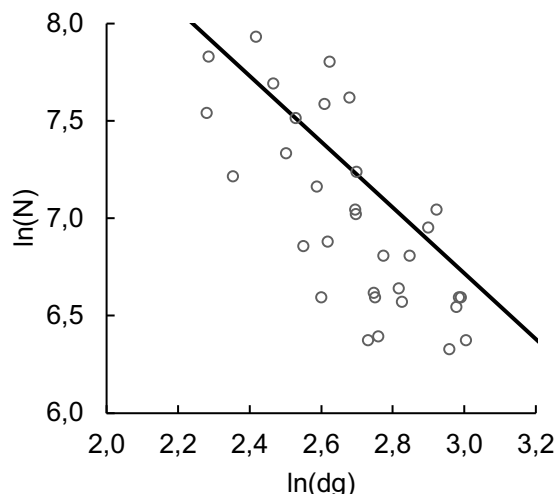


Figura 13. Relação entre o logaritmo do número de árvores por hectare (N) e o logaritmo do diâmetro quadrático médio (dg) observada no ensaio de Vale de Cavalos, aos 16 e 22 anos. Apresenta-se a linha de auto-desbaste ajustada por Tomé (www.forestmodels.eu, consultada em janeiro 2019) para o pinheiro bravo.

Analisando a Tabela 8, e tendo por referência a linha de auto-desbaste anteriormente referida, é possível verificar quais os compassos que se encontram em auto-desbaste (assinalados a negrito); verifica-se que, enquanto no bloco 1, os compassos mais apertados entram em auto-desbaste aos 22 anos, no bloco 2 isso já ocorre aos 16 anos.

Tabela 8. Caracterização do auto-desbaste do ensaio de compassos de Vale de Cavalos, para ambos os blocos.

compasso	16 anos						22 anos					
	dg (cm)		N (ha ⁻¹)		N3/2 (ha ⁻¹)		dg (cm)		N (ha ⁻¹)		N3/2 (ha ⁻¹)	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
1x3	9,8	11,2	2517	2789	2771	2214	13,6	13,8	1973	2449	1601	1561
1x4	9,8	11,8	1888	2194	2797	2041	12,5	14,6	1837	2041	1835	1425
2x3	12,2	10,5	1531	1361	1923	2470	14,8	13,3	1395	1293	1379	1662
2x4	14,8	14,8	1148	1122	1385	1380	18,6	18,2	1148	1046	943	980
3x3	12,8	13,7	952	975	1772	1580	16,0	17,2	907	907	1213	1071
3x4	15,7	16,7	731	765	1260	1127	19,9	19,8	731	731	841	848
4x3	15,6	13,5	748	731	1268	1627	19,6	16,9	697	714	860	1112
4x4	15,8	15,3	599	587	1241	1303	19,3	20,2	561	587	889	821

dg, diâmetro quadrático médio; N, número de árvores vivas por hectare; N3/2, número de árvores vivas por hectare definido pela linha de auto-desbaste ajustada por Tomé (www.forestmodels.eu, consultada em janeiro 2019) para o pinheiro bravo.

Distribuição espacial das árvores dominantes e das árvores mortas

A distribuição espacial das árvores dominantes não é normalmente tida em conta neste tipo de estudos, sendo o trabalho de Soares et al. (1996), aplicado a povoamentos de eucalipto, uma das poucas exceções. Em condições de total homogeneidade do solo, tende a verificar-se uma tendência para as árvores dominantes se encontrarem regularmente espaçadas (Perry, 1985). No ensaio de Vale de Cavalos, verificou-se agregação das árvores dominantes (Figuras 14 a 19), que se foi mantendo ao longo dos anos, chegando mesmo a intensificar-se, o que indica um efeito nítido da heterogeneidade espacial (Tabela 4) e baixos níveis de competição no caso dos compassos mais largos.

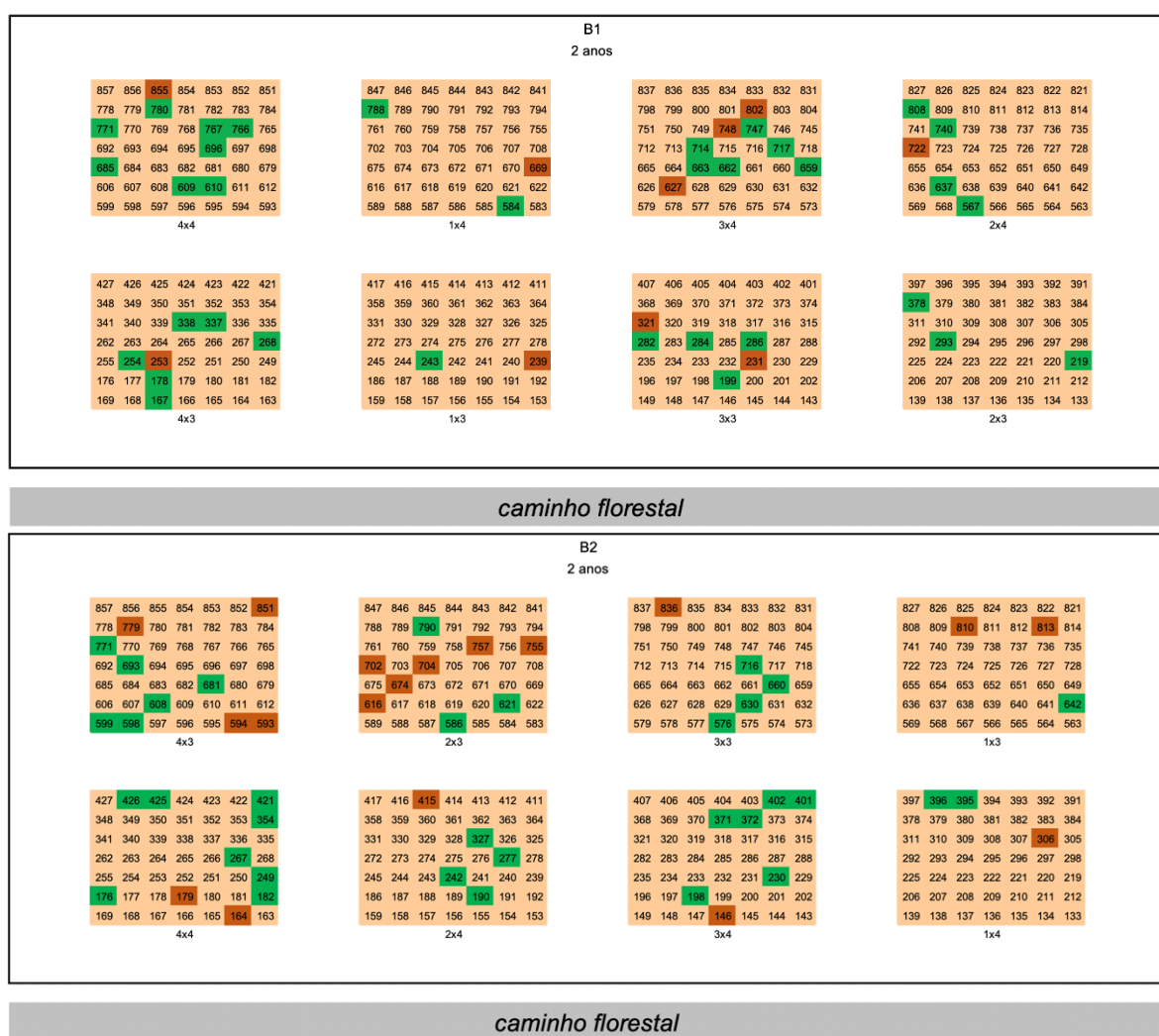


Figura 14. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 2 anos; na ausência de medições de diâmetros foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. **verde** – árvores dominantes; **castanho** – árvores mortas.

Tendo existido duas retanchas nos primeiros 18 meses, verificou-se uma reduzida mortalidade na primeira medição (1,9 anos, Figura 14), algo positivo uma vez que torna mais perceptível o momento em que as árvores dos diferentes compassos entraram em competição.

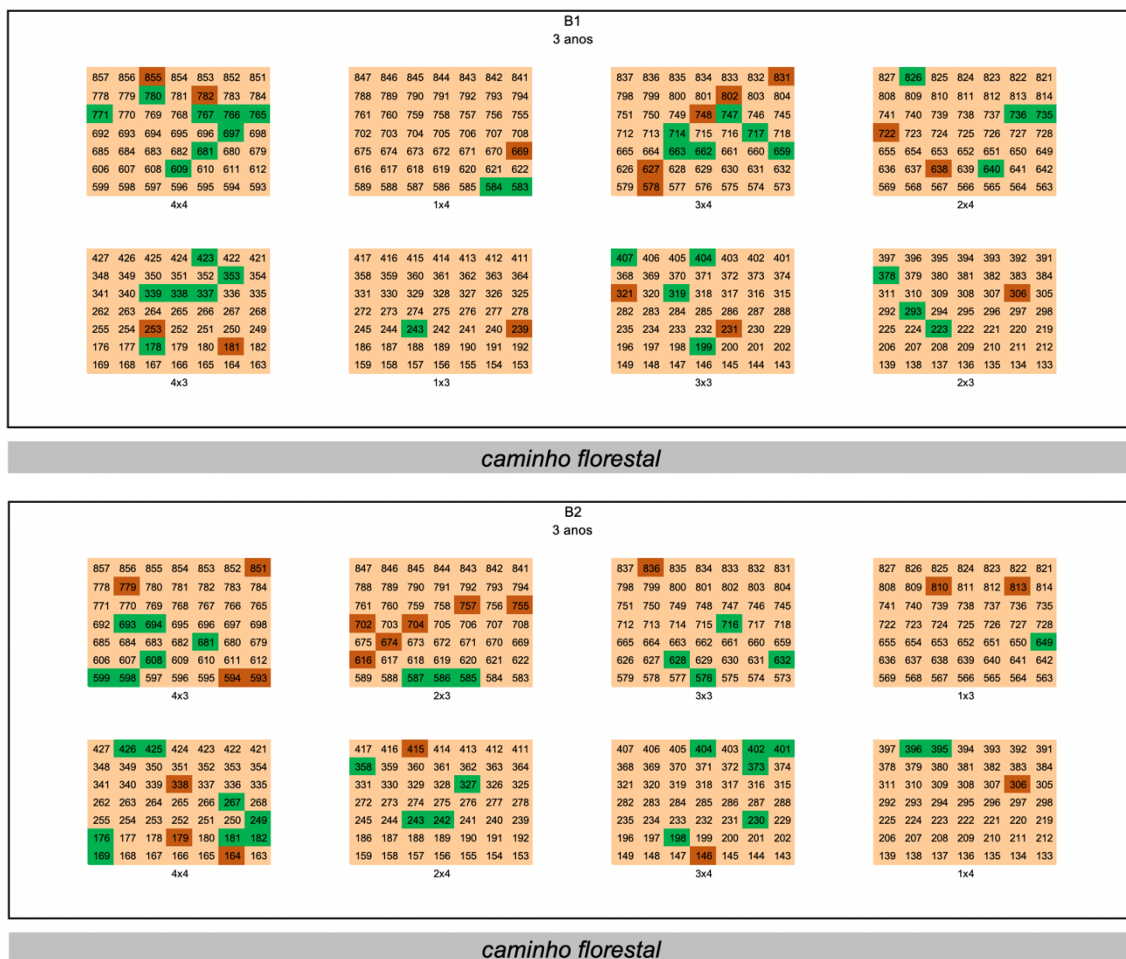


Figura 15. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 3 anos; na ausência de medições de diâmetros foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

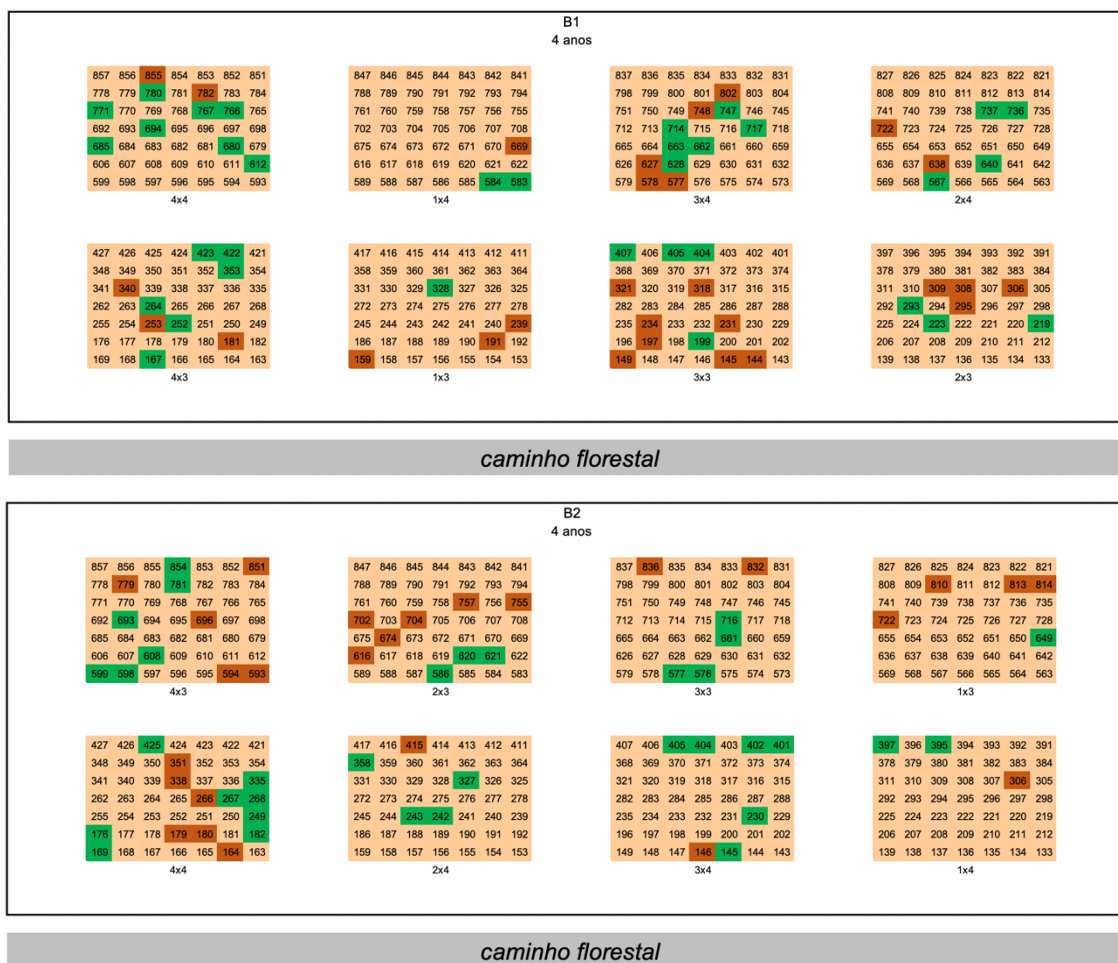


Figura 16. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 4 anos; na ausência de medições de diâmetros foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

Até aos 4 anos (Figuras 14 a 16), a mortalidade aparenta ser casual, tendo continuado a persistir a agregação das árvores dominantes; é possível afirmar que até esta idade não se verificam efeitos significativos da competição intraespecífica.

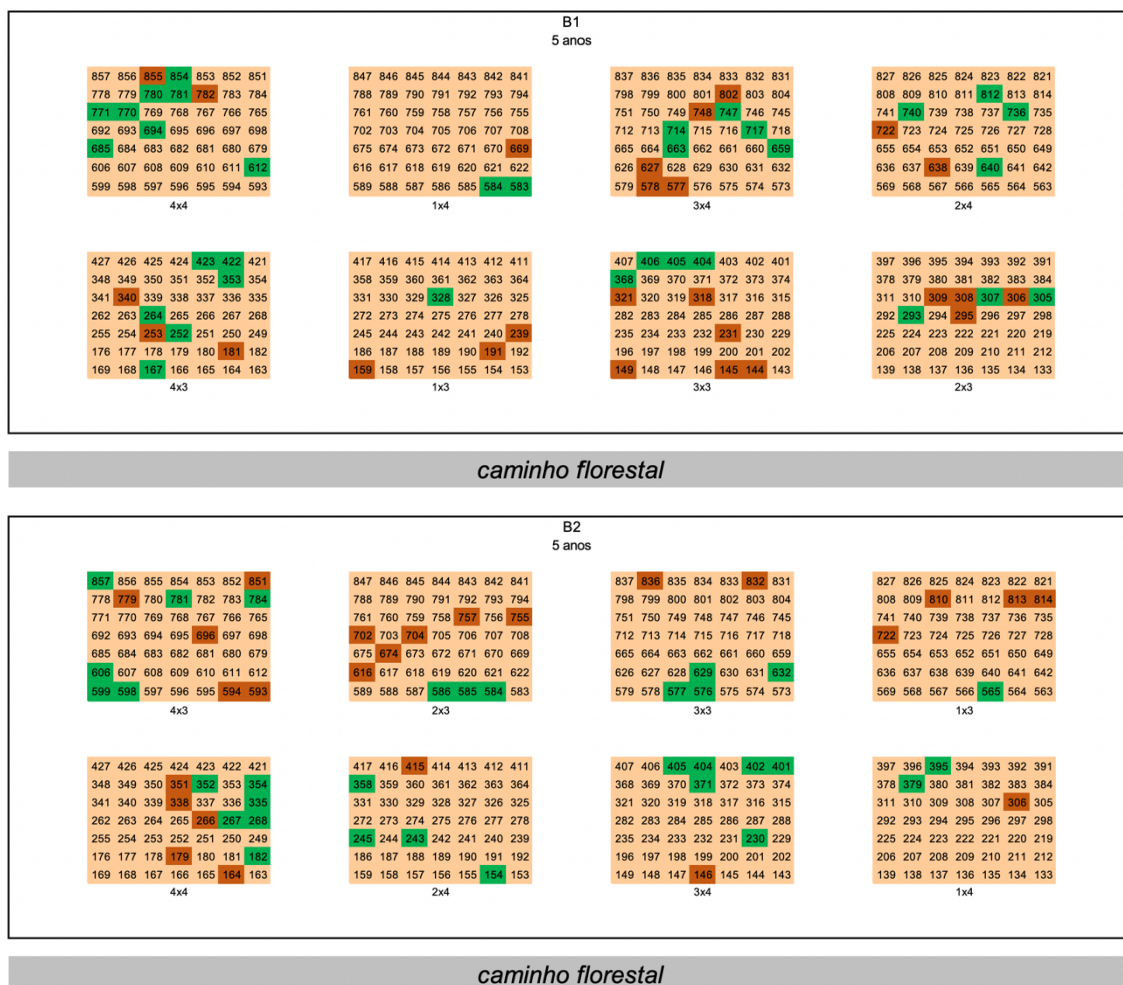


Figura 17. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 5 anos; foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

O aparecimento de aglomerados de árvores mortas aos 16 anos (11 anos após a última medição) e o aparente afastamento de uma percentagem significativa das árvores dominantes indica a existência de competição relativamente intensa. Para além do grande intervalo entre as medições (5 anos – 16 anos), numa fase importante do desenvolvimento do ensaio, não foram realizadas limpezas para controlo de vegetação espontânea durante um longo período, tendo-se instalado competição interespecífica, a qual se foi intensificando até ao final de 2018, tendo sido nessa altura que se efetuou o corte de matos.

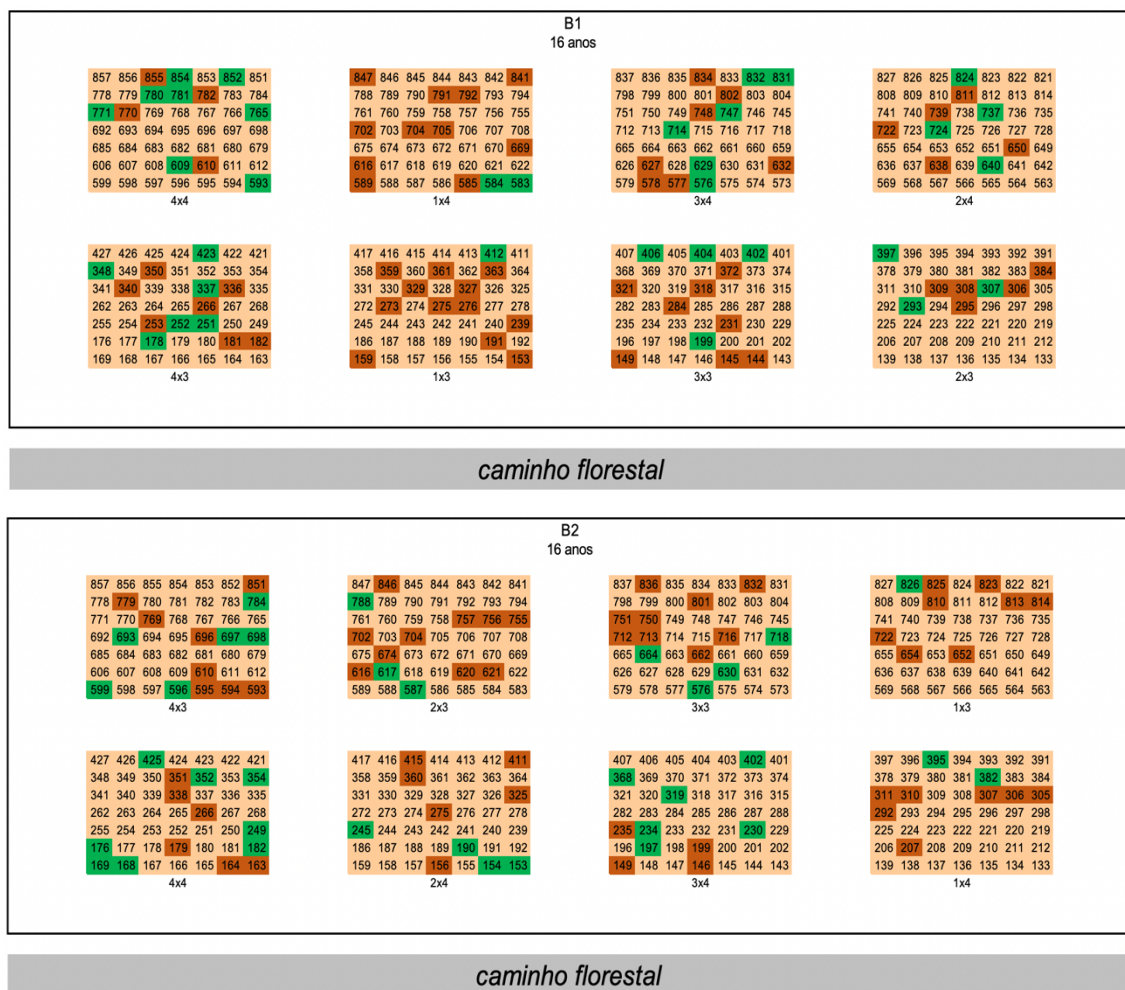


Figura 18. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 16 anos; foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

A competição intraespecífica continuou a intensificar-se dos 16 para os 22 anos (Figuras 18 e 19) e a mortalidade aumentou consideravelmente; para além do auto-desbaste, os aglomerados de árvores mortas sugerem o possível aparecimento de doenças no povoamento, especialmente nos compassos mais largos.

A mortalidade está altamente condicionada pela capacidade das árvores do povoamento atingirem uma determinada altura, até certa fase da competição (Cannell et al., 1983). Caso existissem medições entre os 16 e os 22 anos seria possível verificar esta hipótese analisando a altura das árvores mortas.

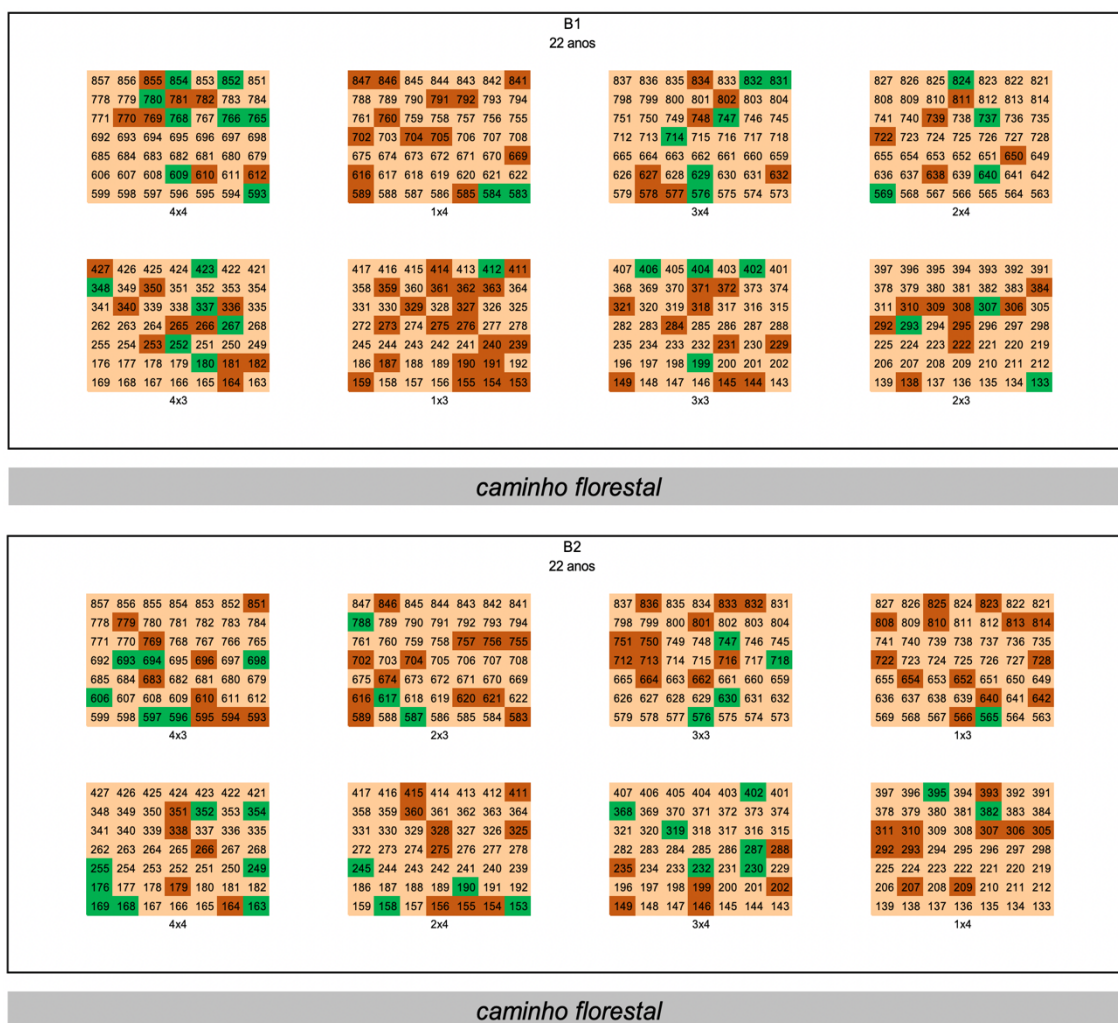


Figura 19. Distribuição espacial das árvores dos dois blocos, aos 22 anos; foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

5.2. Efeito da competição intraespecífica nas variáveis da árvore e do povoamento

Variáveis das árvores dominantes: altura e diâmetro médio

A análise da dimensão das árvores dominantes baseia-se nas variáveis diâmetro e altura média. Ambos os blocos analisados parecem permitir concluir, à semelhança das conclusões do trabalho de Smith (1986), que a altura das árvores dominantes é afetada pela disponibilidade de recursos no solo e é independente do compasso à plantação, apesar da heterogeneidade do solo poder influenciar a relação altura dominante/compasso (Figura 20). O efeito da heterogeneidade no valor da altura dominante pode ser “mascarado” pela definição de árvore dominante utilizada – 100 árvores mais grossas por hectare – que corresponde, nos compassos mais apertados do ensaio, a uma ou duas árvores.

Em ambos os blocos, aos 16 e 22 anos, são nítidas as diferenças no diâmetro médio das árvores dominantes dos diferentes compassos (Figura 21); apesar destas diferenças serem mais visíveis no bloco 1, verifica-se que também existe uma diferença dos compassos mais apertados para os compassos mais largos no bloco 2. Aos 5 anos, provavelmente devido a uma influência ainda reduzida da competição, não se verificam diferenças entre os compassos mais apertados e os compassos mais largos. No bloco 2, o compasso 2x3 é, de todos, o que tem menor índice de qualidade da estação (Tabela 1), justificando os valores *anormais* na sequência diâmetro médio/compasso. As diferenças mantiveram-se praticamente constantes com o aumento da idade.

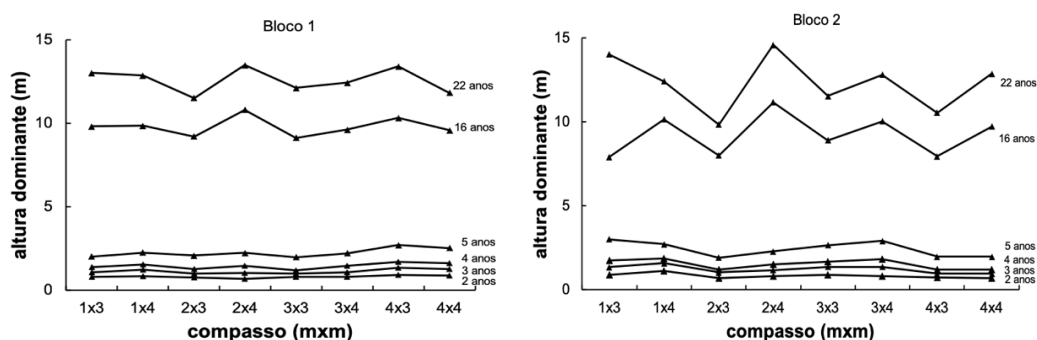


Figura 20. Relação entre a altura dominante e o compasso nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).

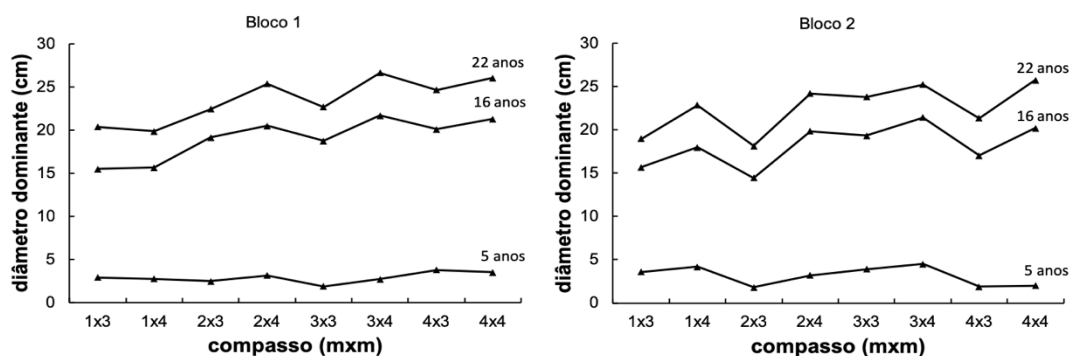


Figura 21. Relação entre o diâmetro dominante e o compasso nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).

Variáveis da densidade do povoamento: número de árvores por hectare e área basal

A área basal do povoamento, expressando simultaneamente a dimensão média da árvore e o número de árvores por hectare em cada medição, é mais elevada nos compassos mais apertados, traduzindo a influência do maior número de árvores (Figura 22). Mesmo com valores de mortalidade altos (Tabela 7) nos compassos mais apertados do ensaio, com valores de mortalidade de 40,8% e 26,5%, respetivamente, para o bloco 1 e 2, compasso 1x3 aos 22 anos, os correspondentes valores de área basal ha^{-1} são ainda superiores aos dos compassos 4x3 e 4x4. Os compassos 3x3 do bloco 1 e 2x3 do bloco 2 apresentam valores de área basal ha^{-1} inferiores, respetivamente, aos compassos 3x4 do bloco 1 e 2x4 do bloco 2, denunciando a forte influência da produtividade da estação no desenvolvimento dos povoamentos, algo que também é altamente visível no compasso 2x4 do bloco 1, que revela os valores de área basal ha^{-1} mais elevados do seu bloco; o índice de qualidade da estação pode também justificar a igualdade no diâmetro da árvore de área seccional média em vários compassos de ambos os blocos.

Tratando-se o pinheiro bravo de uma espécie explorada em rotações que podem chegar, em alguns casos, aos 80 anos, as conclusões relativamente aos resultados obtidos vão de encontro ao trabalho de Smith e Strub (1991) e Carvalho (1999), que referem que, de um modo geral, em povoamentos jovens, a área basal e o volume total aumentam com a densidade, independentemente da espécie em análise. Esta tendência também já se verificou em povoamentos jovens de resinosas de *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Bartoli e Decourt, 1971) e em povoamentos de *Pinus taeda* L. (Harms e Langdon, 1976), onde área basal entre os 3 e os 14 anos aumentava para densidades crescentes.

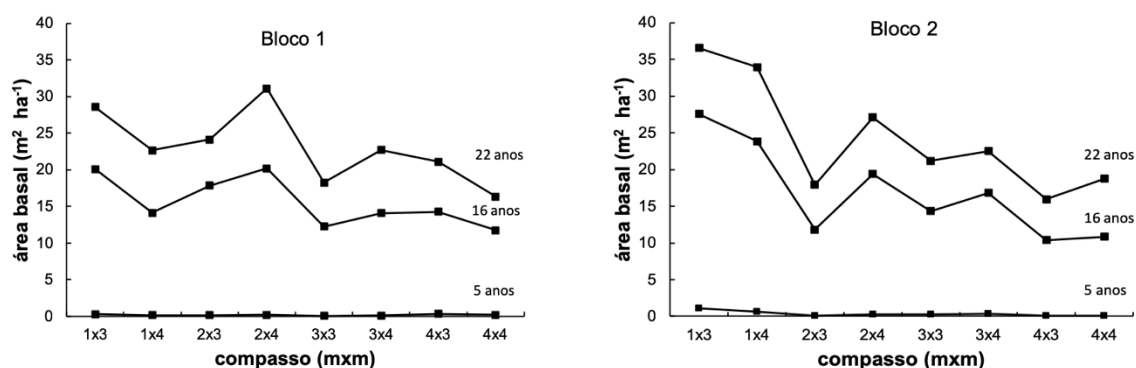


Figura 22. Influência do compasso na área basal por ha^{-1} , nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).

Variáveis do povoamento: volume total, volume mercantil e acréscimo médio anual em volume

Os gráficos do volume total em função da densidade (Figura 23) evidenciam a existência de uma relação entre estas duas variáveis. A baixas densidades, o volume aumenta proporcionalmente à densidade, mas a elevadas densidades o crescimento é limitado pela densidade caminhando para um ponto em que o crescimento atinge um valor constante, indo de encontro ao trabalho de Fujimori (2001), que analisou povoamentos de *Cryptomeria japonica* ao longo de 25 anos, em densidades até 8000 árvores por hectare.

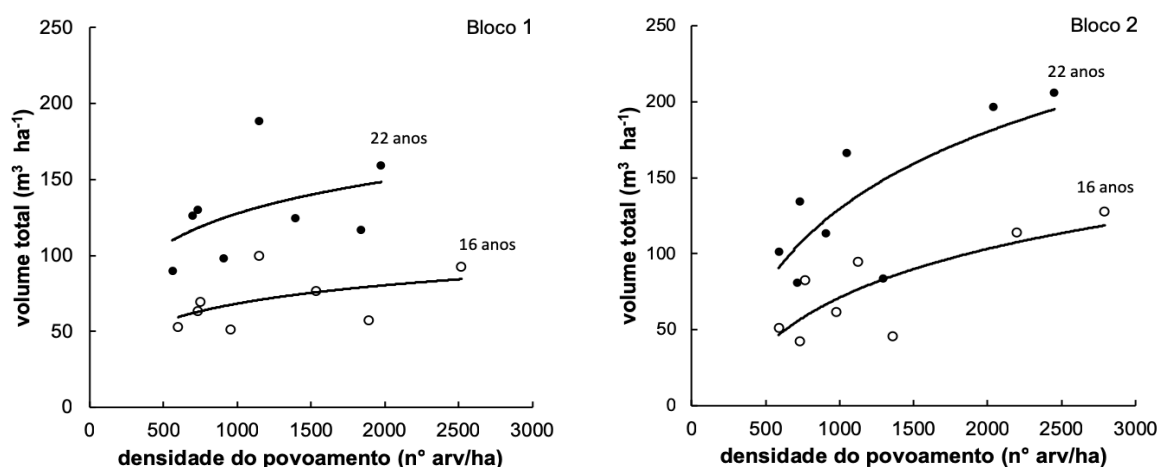


Figura 23. Efeito da densidade no volume total por ha⁻¹, nos blocos do ensaio, aos 16 e 22 anos. Apresenta-se a linha de tendência associada a cada medição para ambos os blocos.

O volume total ha⁻¹, é, quase sempre, superior nos compassos mais apertados (Figura 24), indo de encontro ao trabalho de Carvalho (1999). No entanto, uma maior produção em volume total, associada a maiores densidades, não implica que esta seja a melhor opção para os proprietários florestais. O facto da utilização da madeira estar condicionada a um diâmetro de despona (normalmente 7 cm com casca), faz com que as diferenças do volume total para o volume mercantil tenham que ser analisadas. O aproveitamento de toros com diâmetros reduzidos para mercados como o da estilha (biomassa, *pellets*,...) ou da impregnação (tutores, postes,...), confere à madeira um valor inferior ao conferido a toros com diâmetros maiores, que têm potenciais mais nobres, como a madeira para serração.

A Tabela 9 representa os volumes total e mercantil por ha⁻¹ para as idades 16 e 22 anos. A diferença entre estes volumes, para os vários compassos, é, nos dois blocos e para ambas as idades, muito pequena. Seria de esperar uma maior diferença entre o volume mercantil e o volume total, especialmente nos compassos mais apertados, onde o diâmetro

da árvore média não é muito superior ao limite de 7 cm com casca considerado para definição da bicada. No entanto, a grande diferença no número de árvores (ex., aos 16 anos, 2517 árvores ha^{-1} no compasso 1x3 e 599 árvores ha^{-1} no compasso 4x4) (Tabela 8) supera estas diferenças em diâmetro.

O facto de os compassos mais apertados apresentarem volumes mercantis mais elevados, no entanto, não os torna garantidamente na decisão mais acertada quando se instala um povoamento de pinheiro bravo. Em termos económicos, confere-se maiores valores por metro cúbico a madeiras com diâmetros maiores (Allen e Burkhart, 2018), os quais caracterizam os compassos mais largos (Figura 25, Tabela 9). Seria necessária incluir uma análise económica no planeamento para averiguar a viabilidade das várias opções e permitir uma decisão fundamentada.

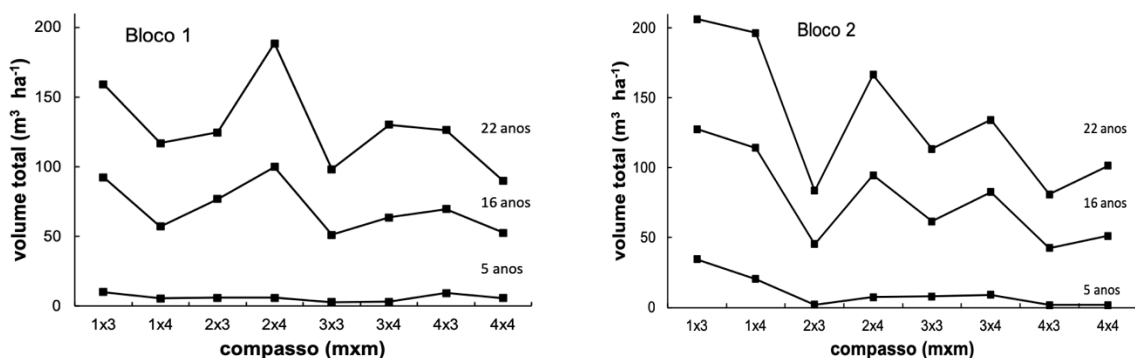


Figura 24. Influência do compasso no volume total por ha^{-1} , nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).

Tabela 9. Valores de volume total e mercantil por ha^{-1} , diâmetro quadrático médio e acréscimo médio anual em volume total aos 22 anos, para os 2 blocos do ensaio de Vale de Cavalos, aos 16 e 22 anos.

compasso	16 anos						22 anos							
	V (m^3/ha)		Vmdi (m^3/ha)		dg (cm)		V (m^3/ha)		Vmdi (m^3/ha)		dg (cm)		mai ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$)	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
1x3	92,6	127,6	75,2	105,6	9,8	11,2	159,1	206,2	144,4	188,4	13,6	13,8	7,2	9,4
1x4	57,2	114,1	43,1	97,2	9,8	11,8	117,1	196,4	103,8	180,6	12,5	14,6	5,3	8,9
2x3	76,8	45,5	66,8	36,2	12,2	10,5	124,5	83,7	115,7	75,3	14,8	13,3	5,7	3,8
2x4	100,0	94,5	93,1	87,9	14,8	14,8	188,4	166,6	182,2	160,8	18,6	18,2	8,6	7,6
3x3	51,2	61,7	45,1	56,0	12,8	13,7	98,3	113,5	93,1	108,7	16,0	17,2	4,5	5,2
3x4	63,6	82,7	59,8	78,8	15,7	16,7	130,1	134,1	126,8	130,7	19,9	19,8	5,9	6,1
4x3	69,6	42,6	65,5	38,3	15,6	13,5	126,3	80,9	123,0	77,2	19,6	16,9	5,7	3,7
4x4	52,7	51,2	49,6	47,9	15,8	15,3	89,9	101,5	87,2	98,9	19,3	20,2	4,1	4,6

Variáveis da árvore média e médias da árvore

Os efeitos da competição ao nível das variáveis da árvore média e médias das árvores são evidentes.

Os compassos mais largos associam-se a valores mais elevados de altura média e diâmetro quadrático médio, sendo este efeito mais acentuado no diâmetro (Figura 25). Junta-se assim a conclusão retirada neste trabalho para o diâmetro médio a um vasto conjunto de estudos que verificaram anteriormente uma clara relação positiva entre o compasso e o diâmetro médio, independentemente da espécie (Sjolte-Jorgensen, 1967; Evert, 1971; Bartoli e Decourt, 1971; Hamilton e Christie, 1974; Poynton, 1981; Malimbwi et al., 1992; Perry et al., 1993; Carvalho, 1999).

Apesar da diferença em altura não ser muito evidente (Figura 25), as conclusões não parecem ir ao encontro das apresentadas no trabalho de Bartoli e Decourt (1971), tendo estes concluído, em ensaios de compassos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., que o compasso não tinha efeito sobre o crescimento em altura média. Os resultados do ensaio de Vale de Cavalos vão sim ao encontro das conclusões obtidas por Malimbwi et al. (1992), os quais, após analisarem ensaios de compassos de *Cupressus lusitânica* Miller., verificaram a existência de uma tendência decrescente na altura média para compassos mais apertados. Não sendo os compassos em estudo considerados extremamente apertados ou largos, não foi possível verificar a hipótese de Smith e Strub (1991), que defendem que o crescimento em altura é afetado negativamente por densidades extremamente altas ou baixas.

O valor de altura média do compasso 2x3 do bloco 2 é relativamente mais baixo que o esperado; Sjolte-Jorgense (1967) tirou conclusões semelhantes em alguns compassos, tendo concluído que os fatores climáticos e a qualidade de estação podem influenciar grandemente a altura média. É de considerar essa hipótese neste estudo, a heterogeneidade espacial é talvez a melhor hipótese para explicar este resultado.

A média dos volumes das árvores é afetada pela densidade à plantação, com valores mais elevados associados aos compassos mais largos (Figura 26), sendo esta tendência já evidente aos 16 anos e acentuando-se na medição correspondente aos 22 anos, revelando maiores crescimentos em volume associados às árvores que se desenvolvem em povoamentos com densidades menores e, portanto, onde os efeitos da competição intraespecífica são menos evidentes.

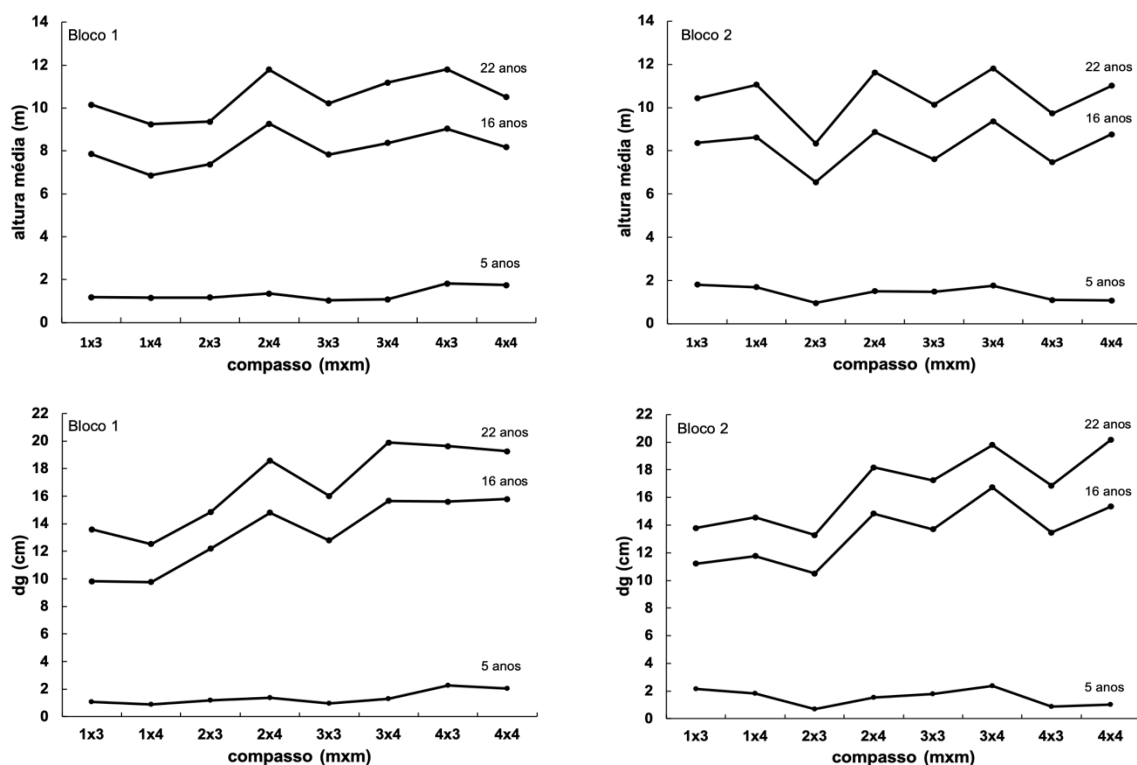


Figura 25. Influência do compasso na altura média e no diâmetro quadrático médio (dg), nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos).

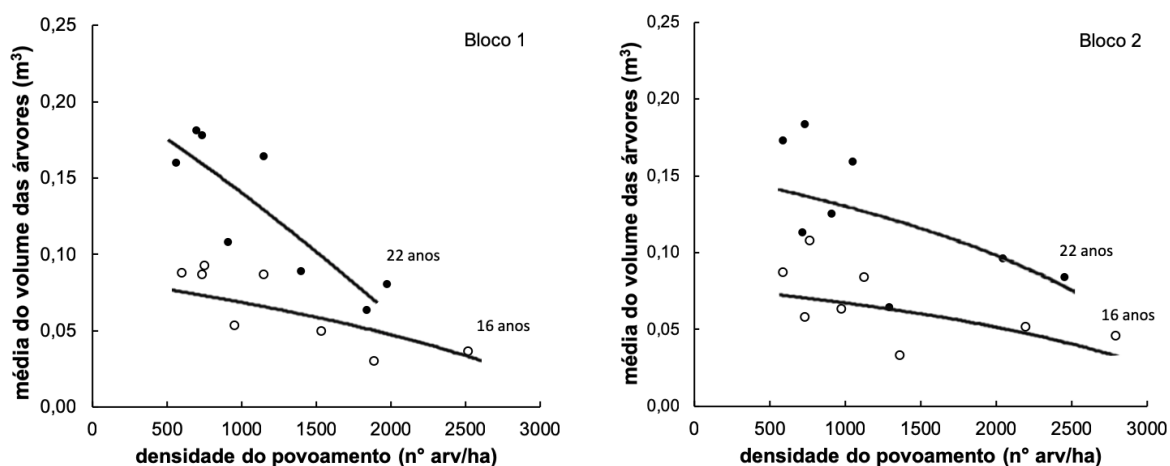


Figura 26. Influência da densidade na média do volume das árvores, nos blocos do ensaio, para diferentes idades (anos). Apresenta-se a linha de tendência associada a cada medição para ambos os blocos.

Na Figura 27, após análise da evolução da proporção de copa e da média das alturas da base da copa das árvores de cada compasso, verifica-se que:

- há subida da altura da base da copa das árvores, sendo essa subida mais acentuada nos compassos mais apertados;

- o comprimento da copa em relação à altura da árvore é maior nos compassos mais largos traduzindo-se por valores mais altos de proporção de copa; os valores de proporção de copa variam entre 0,61 e 0,80, aos 16 anos, e entre 0,37 e 0,65, aos 22 anos, para o bloco 1 e, respectivamente, compassos 1x3 e 4x4. Tal significa que a altura da base da copa está a subir mais rapidamente do que o correspondente crescimento em altura. O vigor da árvore e a taxa normal de crescimento em diâmetro são mantidos desde que a proporção de copa seja igual a 0,4 ou superior (Zhao et al, 2012). Os resultados vão de encontro ao trabalho de del Río et al. (2019), uma vez que as árvores que crescem em condições de competição mais intensa exibem menor proporção de copas. Considerando ainda esse trabalho, e tendo em conta que o pinheiro bravo é uma espécie de luz, intolerante ao ensombramento (Oliveira, 1976), os valores obtidos fazem todo o sentido. O aumento do ensombramento – auto-ensombramento e ensombramento provocado pelas árvores vizinhas – nos ramos que constituem a base da copa, desencadeia a morte destes (Oker-Blom e Kellomäki, 1982).

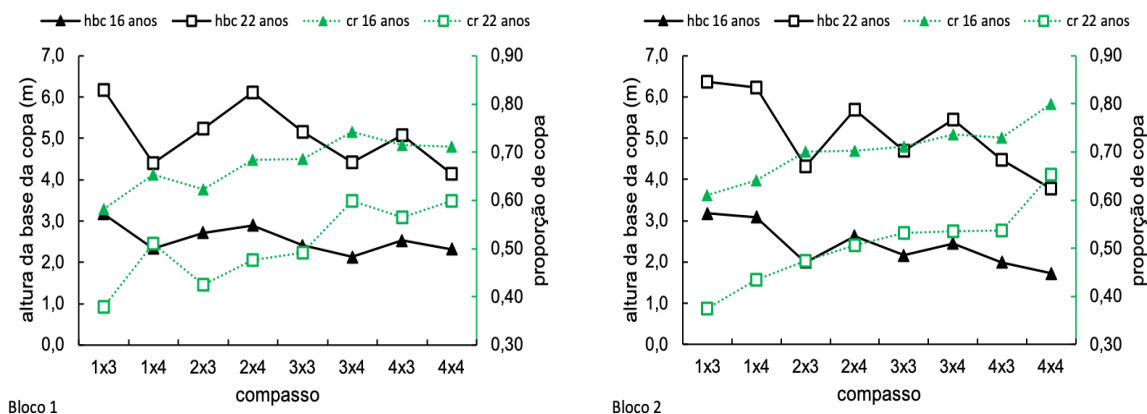


Figura 27. Evolução da média das alturas da base da copa (hbc) e da proporção de copa (cr), nos blocos do ensaio, aos 16 e 22 anos. As linhas a preto referem-se à altura da base da copa, as linhas a cor referem-se à proporção da copa.

O coeficiente de adelgaçamento (razão entre altura/diâmetro) das árvores do ensaio é, para a mesma idade, mais elevado nos compassos mais apertados, resultado da forma mais cilíndrica das árvores das parcelas com maior densidade por oposição à forma mais cónica que caracteriza as árvores dos compassos mais largos (Figuras 28 a 31); as árvores alteram a sua morfologia como resposta à competição. Assim, para o mesmo compasso, o coeficiente de adelgaçamento mantém-se aproximadamente constante aos 5 e 16 anos e aumenta dos 16 aos 22 anos, independentemente da classe de diâmetro, revelando o maior efeito da densidade no crescimento em diâmetro do que em altura. Nos compassos mais apertados (Figura 28), verifica-se o desenvolvimento aproximadamente paralelo das curvas referentes às medições dos 5 e 16 anos o que parece sugerir que a repartição do crescimento pelos componentes altura e diâmetro diferiu apenas ligeiramente com a classe de dimensão,

esse paralelismo parece com o tempo diminuir e passa a observar-se nas medições dos 16 e 22 anos.

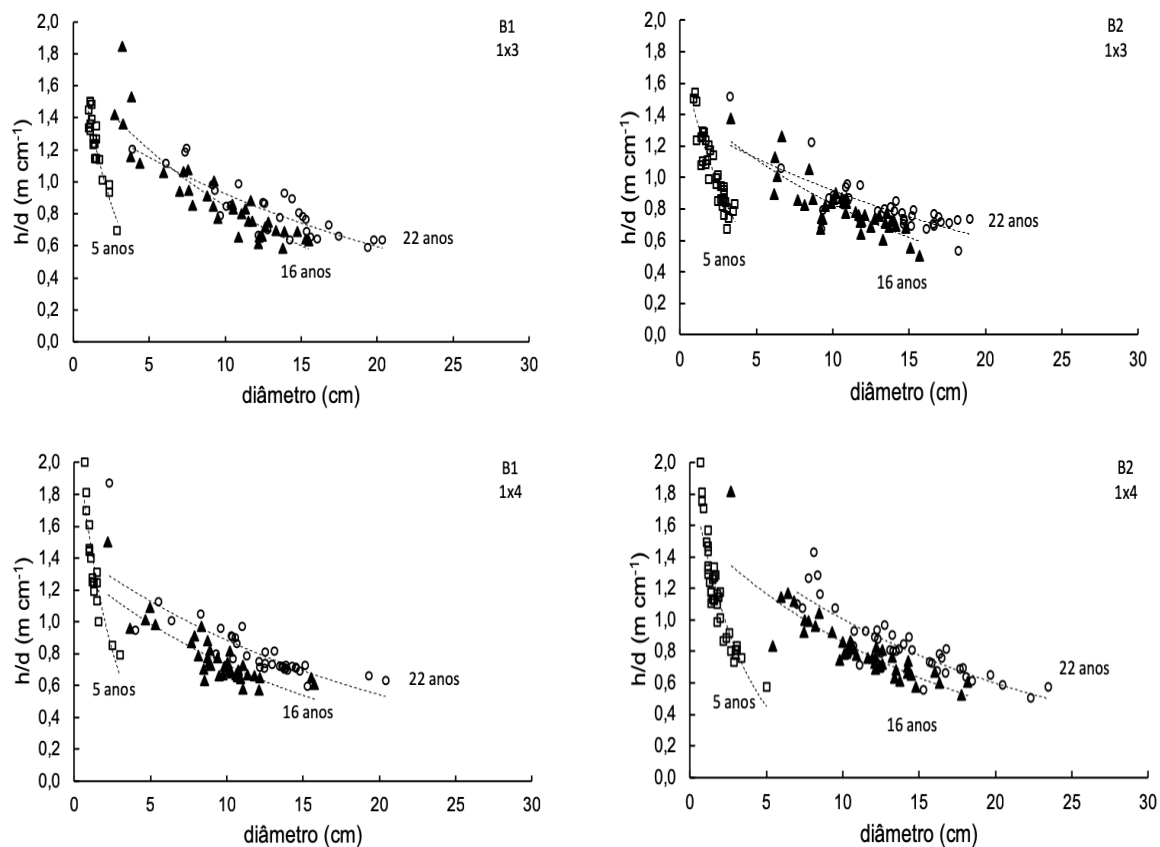


Figura 28. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 1x3 e 1x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.

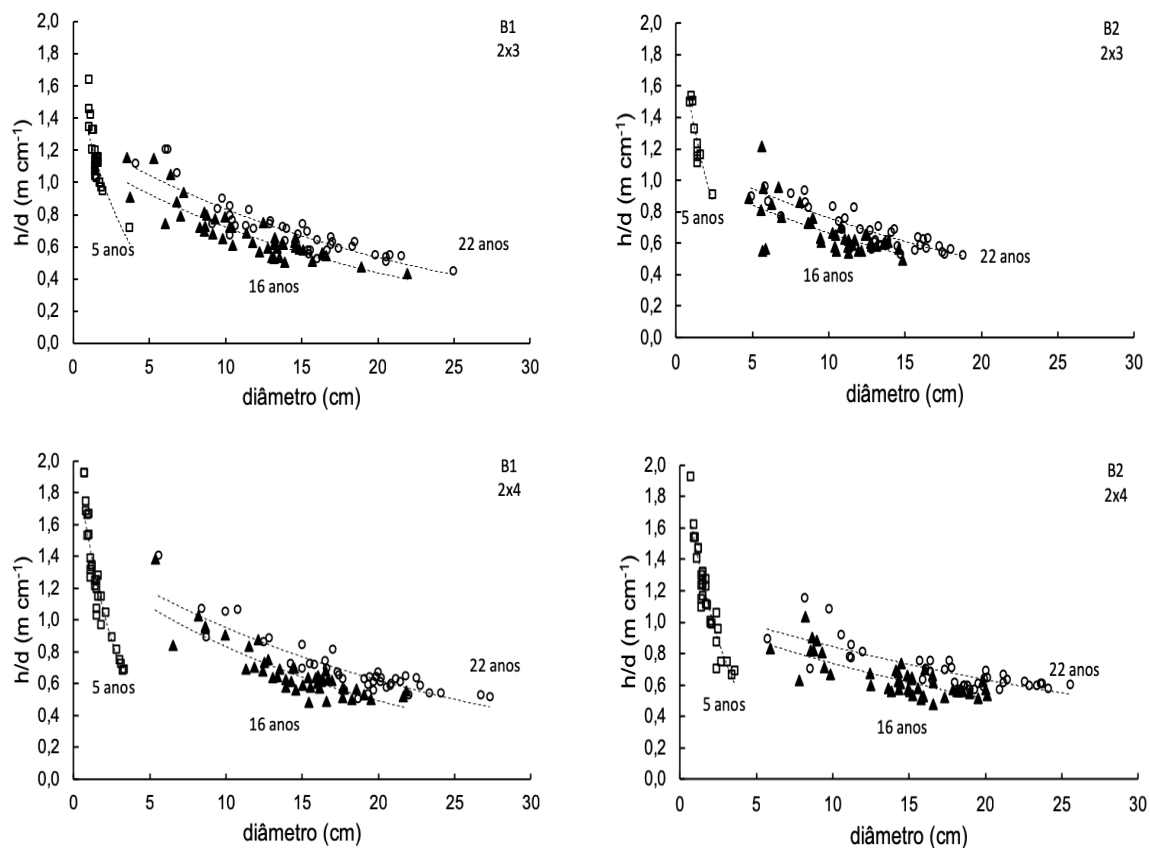


Figura 29. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 2x3 e 2x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.

Nos compassos mais largos (Figuras 30 e 31), o paralelismo acima mencionado verifica-se apenas entre as medições feitas aos 16 e 22 anos, não se observando aos 5 anos, o que sugere que nestes compassos a competição se inicia numa fase mais tardia.

Nos compassos mais largos do ensaio (Figura 31) verifica-se que, apesar de existir crescimento dos 16 para os 22 anos, a razão (altura/diâmetro) mantém-se relativamente constante, sugerindo o equilíbrio desta razão e para esta espécie, em povoamentos onde a competição não é tão evidente e a mortalidade é mais reduzida.

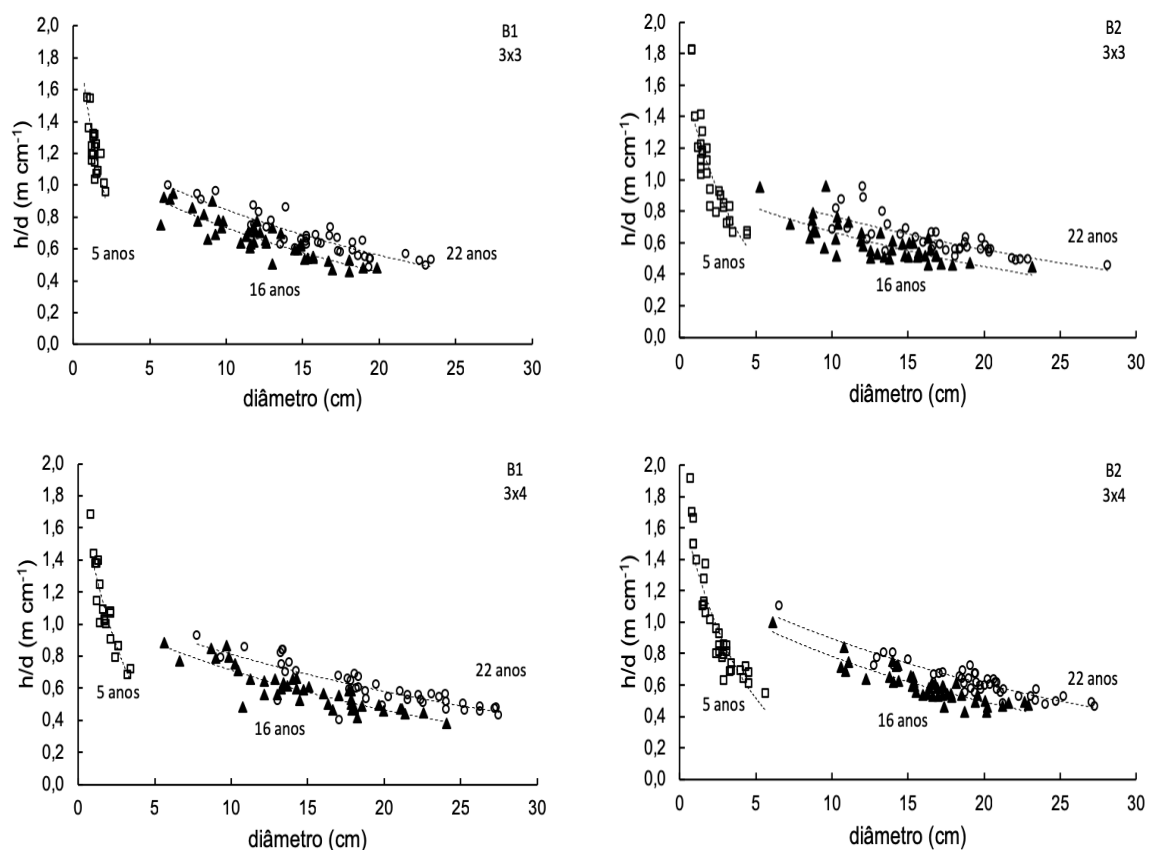


Figura 30. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 3x3 e 3x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.

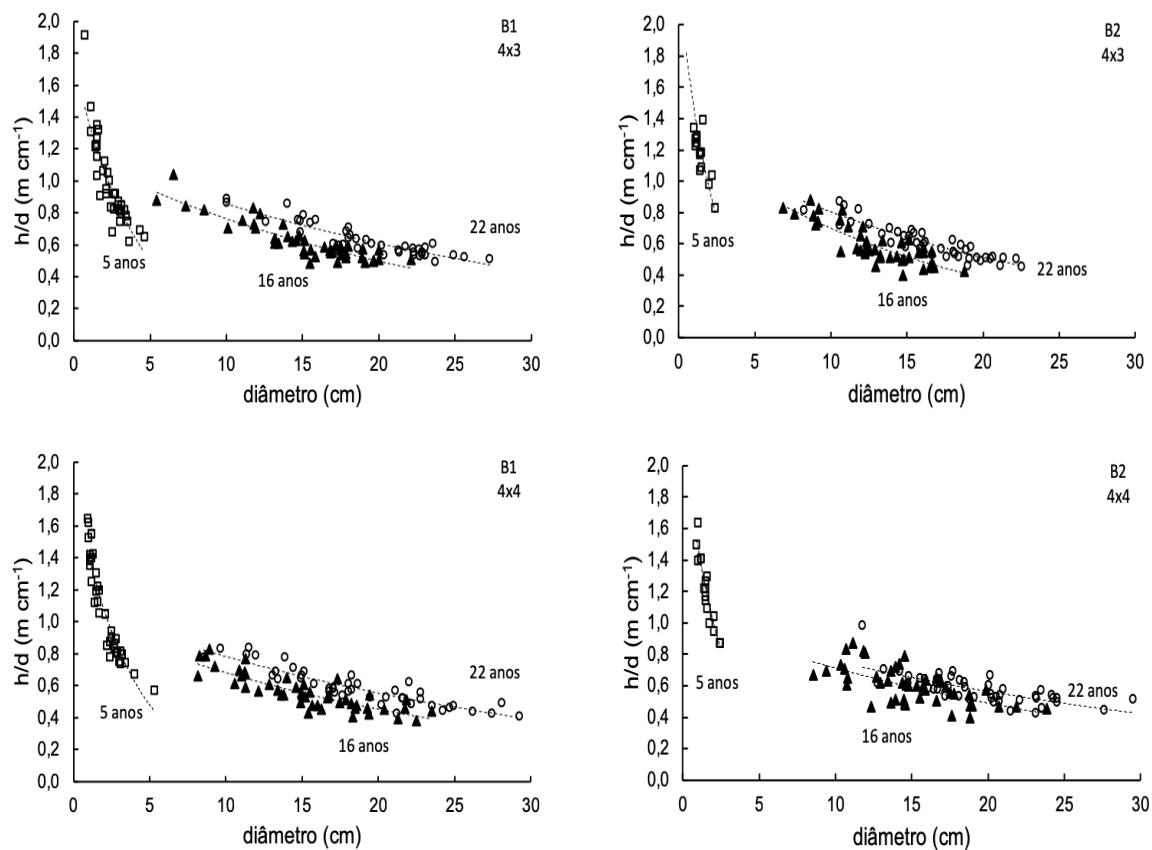


Figura 31. Gráficos do coeficiente de adelgaçamento (h/d) por classe de diâmetro para os compassos 4x3 e 4x4 dos dois blocos, para as idades 5, 16 e 22 anos. Cada ponto corresponde a uma árvore individual.

5. Considerações finais e recomendações

Morais e Salinas (1985) analisaram o efeito, ao nível dos resultados produtivos (em termos físicos e financeiros), do compasso (2x2, 2,5x2,5 e 3x3) na instalação de povoamentos de resinosas. A ausência de dados para o pinheiro bravo, levou os autores a usarem dados de *Pinus nigra* spp. *laricio*, retirados de tabelas de produção inglesas. Recomendam que não se usem densidades à plantação inferiores a 1650 árvores ha⁻¹ (2,5x2,5) por constatarem a grande perda de maleabilidade na condução cultural que acarretaria a utilização de densidades inferiores, a qual se poderia traduzir na dificuldade em compatibilizar objetivos de produção complementares por manifesta insuficiência de número de árvores ha⁻¹. E dão como exemplo a obtenção, num mesmo povoamento e em diferentes fases da rotação, de proporções significativas de material de diferentes categorias de aproveitamento (dimensão).

Trinta e três anos depois, validam-se algumas das conclusões de Moraes e Salinas (1985), tendo por base dados recolhidos no ensaio de compassos de pinheiro bravo de Vale de Cavalos. O efeito do compasso foi analisado ao nível das alterações na estrutura dos povoamentos e das variáveis da árvore e do povoamento. De um modo geral, as principais conclusões foram:

- os compassos têm influência nas distribuições de frequência dos diâmetros e das alturas, originando assimetrias que se acentuam com a idade; nos compassos mais apertados é visível a presença de uma barreira “tampão” que condiciona a transição das árvores para uma classe de dimensão superior, característico das espécies intolerantes;
- a distribuição das árvores mortas e das árvores dominantes dos povoamentos parece ser independente da densidade, havendo, no entanto, padrões de agregação que parecem revelar variações ao nível do solo e/ou incidência de pragas ou doenças;
- nos compassos apertados verifica-se mortalidade dependente da densidade, com povoamentos localizados acima da linha de auto-desbaste apresentada por Tomé (2001);
- a altura dominante parece ser independente do compasso, mas o diâmetro quadrático médio das árvores dominantes é mais elevado nos compassos mais largos;
- as variáveis número de árvores, área basal e volume total por ha⁻¹ são afetadas pelo compasso com valores de área basal e de volume total mais elevados para os compassos mais apertados;

- as variáveis do povoamento volume total, volume mercantil e acréscimo médio anual são afetadas pela densidade, associando-se valores mais elevados de volumes e de acréscimo médio anual aos compassos mais apertados;
- as variáveis de copa, nomeadamente o comprimento e a proporção de copa, são influenciadas pelo compasso com valores mais elevados de proporção de copa nos compassos mais largos;
- a média do volume das árvores e o diâmetro da árvore de área seccional média são influenciados pelo compasso com valores mais elevados associados aos compassos mais largos; a média da altura das árvores não parece ser afetada pelo compasso, embora se note um ligeiro decréscimo para compassos mais apertados; no entanto, a última medição analisada foi feita aos 22 anos. Futuras medições comprovarão a independência ou a dependência da média das alturas em relação ao compasso.

6. Referências bibliográficas

- Adams WT, 1980. Intergenotypic competition in forest trees. In: Dancik BP, Higginbotham KO (eds), North American Forest Biology Workshop. Edmonton. 1-14pp.
- Adams WT, Roberts JH, Zobel BJ, 1973. Intergenotypic interactions among families of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Theor Appl Genet 43:319-322.
- Adlard PG, 1993. Myth and reality in growth estimation. For Ecol Manag 71:171-176.
- Alegria CMM, 2004. Estudo da dinâmica e do crescimento dos povoamentos naturais de pinheiro bravo na região de Castelo Branco. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. 501pp.
- Alves AAM, 1988. Técnicas de produção florestal. 2ª edição. Instituto Nacional de Investigação Científica. Lisboa. 331pp.
- Allard RW, Adams J, 1969. Population studies in predominantly self-pollinating species. XIII. Intergenotypic competition and population structure in barley and wheat. Am Nat 103:621-645.
- Allen MGII, Burkhart H, 2018. Growth-density relationships in Loblolly pine plantations. For Sci XX(XX):1-15. doi: 10.1093/forsci/fxy048
- Assmann E, 1970. The principles of forest yield study. Pergamon. Oxford. 520pp.
- Baldwin VC Jr, Peterson KD, Clark AIII, Ferguson RB, Strub MR, Bower DR, 2000. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly Pine. For Ecol Manag 137:91-102.
- Bartoli M, Decourt N, 1971. Densité de plantation. Etude bibliographique et premiers résultats d'une experience sur le Douglas. Ann Sci For 28(1): 59-81.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR, 1986. Ecology. Blackwell Science. Oxford. 1068pp.
- Bramble WC, Cope HN, Chisman HH, 1949. Influence of spacing on growth of red pine in plantations. J For 47:726-732.
- Brand DG, Magnussen S, 1988. Asymmetric, two-sided competition in even aged monocultures of red pine. Can J For Res 18:901-910.
- Brix H, 1983. Effects of thinning and nitrogen fertilization on growth of Douglas-fir: relative contribution of foliage quantity and efficiency. Can J For Res 13:167-175.
- Burger H, 1939. The principles of forest yield study. Pergamon. Oxford. 506pp.
- Cannell MGR, 1978. Biological opportunities for genetic improvement in forest productivity. In: Ford ED, Malcolm DC, Atterson J (eds), The ecology of even-aged forest plantations. Institute of Terrestrial Ecology. Edinburgh. 119-144pp.
- Cannell MGR, 1983. Plant management in agroforestry: manipulation of trees, population densities and mixtures of trees and herbaceous crops. In: Huxley PA (eds), Plant research and agroforestry. International Council for Research in Agroforestry. Nairobi. 455-487pp.

- Cannell MGR, Rothery P, Ford ED, 1984. Competition within stands of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. Ann Bot 53:349-362.
- Carvalho, APSM, 1995. Competição intraespecífica em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill.. Uma aplicação a índices de competição dependentes da distância. Tese de Mestrado em Produção Vegetal. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 207pp.
- Carvalho APSM, 1999. Modelação do crescimento da árvore em eucaliptais em 1ª rotação localizados nas regiões norte e centro litoral. Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 369pp.
- Carvalho CR, 2017. Gestão sustentável da floresta, valor económico e serviços ambientais - uma visão para o ordenamento florestal, caça e silvopastorícia. In: Ferreira PC (eds), Economia da Floresta e Ordenamento do Território. Conselho Económico e Social.
- Centro Pinus, 2018. A Fileira do Pinho em 2017. Indicadores da Fileira do Pinho. Centro Pinus.
- Cochrane LA, Ford ED, 1978. Growth of a sitka spruce plantation: analysis and stochastic description of the development of the branching structure. J Appl Ecol 15:227-244.
- Connell JH, 1990. Apparent *versus* real competition in plants. In: Grace JB, Tilman D (eds), Perspectives on plant competition. Academic Press. San Diego. California. pp.9-26.
- Curtis RO, 1983. Procedures for establishing and maintaining permanent plots for silvicultural and yield research. General Technical Report PNW-155. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station. Portland. 56 pp.
- Curtis RO, Reukema DL, 1970. Crown development and site estimates in a Douglas-fir plantation spacing test. For Sci 16: 287-301.
- Daveau S, 1985. Mapas climáticos de Portugal, nevoeiro e nebulosidade, contrastes térmicos. Memórias do Centro de Estudos Geográficos nº 7, Lisboa.
- Daveau S, Carvalho L, Coelho C, Costa V, 1977. Répartition et rythme des précipitations au Portugal. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- del Río M, Bravo-Oviedo A, Ruiz-Peinado R, Condés S, 2019. Tree allometry variation in response to intra- and inter-specific competitions. Trees 33(1):121–138.
- de Wit, CT, 1960. On competition. Versl. landbouwk. Onderzoek. Wageningen. 82pp.
- Donald CM, 1963. Competition among crop and pasture plants. Adv Agron 15:1-118.
- Donald CM, 1968. The breeding of crop ideotypes. Euphytica 17:385-403.
- Duursma RA, Mäkelä A, Reid DEB, Jokela EJ, Porté AJ, Roberts SD, 2010. Self-shading affects allometric scaling in trees. Funct Ecol 24:723-730.
- Evert F, 1971. Spacing studies - a review. For Ecol Manag Inst. Inf. Rep. FMR-X-37. Can For Serv. Ottawa. 95 pp.
- Fabião A, Pereira JS, 1984. Árvores e florestas - A produção primária. Naturalia 6:22-28.

- Ford ED, 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. *J Ecol* 63:311-333.
- Ford ED, 1976. Competition, genetic systems, and improvement of forest yield. In: Cannell MGR, Last Ft (eds), *Tree physiology and yield improvement*. Academic Press. London. 463-472pp.
- Ford ED, 1982. High productivity in a pole stage Sitka spruce stand and its relation to canopy structure. *Forestry* 55:1-17.
- Ford ED, Diggle PJ, 1981. Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. *Ann Bot* 48:481-500.
- Ford ED, Newbould PJ, 1970. Stand structure and dry weight production through the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice cycle. *J Ecol* 58:275-296.
- Ford ED, Newbould PJ, 1971. The leaf canopy of a coppiced deciduous woodland. *J Ecol* 59:843-862.
- Forrester DI, 2017. Ecological and physiological processes in mixed versus monospecific stands. In: Pretzsch H, Forrester DI, Bauhus J (eds), *Mixed-species forests. Ecology and management*. Springer. Berlin. 73–115pp.
- Forrester DI, Tachauer IHH, Annighoefer P, Barbeito I, Pretzsch H, Ruiz-Peinado R, Stark H, Vacchiano G, Zlatanov T, Chakraborty T, Saha S, Sileshi GW, 2017. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *For Ecol Manag* 396:160–175.
- Fujimori T, 2001. *Ecological and silvicultural strategies for sustainable forest management*. 1st edition. Elsevier. Amsterdam. 398pp.
- Gary HL, 1978. The vertical distribution of needles and branchwood in thinned and unthinned 80-year-old lodgepole pine. *Northwest Sci* 52:303-309.
- Gates DJ, 1982. Competition and skewness in plantations. *J Theor Biol* 94:909-922.
- Gates DJ, McMurtrie R, Borough CJ, 1983. Skewness reversal of distribution of stem diameter in plantations of *Pinus radiata*. *Aust For Res* 13:267-270.
- Goldberg DE, 1990. Components of resource competition in plant communities. In: Grace JB, Tilman D (eds), *Perspectives on plant competition*, Academic Press. San Diego. 27-50pp.
- Hall GS, 1965. Wood increment and crown distribution relationships in red pine. *For Sci* 11:438-448.
- Hamilton GJ, Christie JM, 1974. Influence of spacing on crop characteristics and yield. *For. Comm. Bull.* 52. Her Majesty's Stationary Office, London, 91 pp.
- Hara T, 1988. Dynamics of size structure in plant populations. *Trends Ecol Evol* 3(6):129-133.
- Harms WR, Langdon OG, 1976. Development of Loblolly pine in dense stands. *For Sci* 22:331-337.
- Harper JL, 1977. *Population biology of plants*. Academic Press. London, 352 pp.

- Hendry RJ, McGlade JM, Weiner J, 1996. A coupled map lattice model of the growth of plant monocultures. *Ecolog Model* 84:81-90.
- Hühn M, 1969. Studies on the competition between different genotypes in plant stands. Modification of the method of Sakai to estimate the genetic, environmental and competitive variance of a population. *Silvae Genet* 18:186-192.
- Hühn M, 1970. The competitive experiment and its genetic reaction variations. Proc. Meeting IUFRO Working Group on Quantitative Genetics. Section 22, 62-86. New Orleans: USDA Forest Service, Southern Forest Exp.
- ICNF, 2013. IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- ICNF, 2014. Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal Continental - 2013. Departamento de Gestão de Áreas Classificadas Públicas e de Proteção Florestal, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- ICNF, 2018. Regime jurídico da resinagem e da circulação de resina (ponto de situação em junho de 2018) - Nota informativa nº 2. Divisão de Apoio à Produção Florestal e Valorização de Recursos Silvestres, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- Karlsson K, 2000. Stem form and taper changes after thinning and nitrogen fertilization in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* stands. *Scand J For Res* 15:621–632.
- Keddy P, 1989. Competition. Population and community biology series. Chapman and Hall. London. 201pp.
- Kellomäki S, Hari P, 1980. Eco-physiological studies on young Scots pine stands: Tree class as indicator of needle biomass, illumination, and photosynthetic capacity of crown system. *Silva Fenn* 14:227-242.
- Knox RG, Peet RK, Christensen NL, 1989. Population dynamics in loblolly pine stands: changes in skewness and size inequality. *Ecology* 70(4):1153-1166.
- Kohyama H, Kira T, 1956. Interspecific competition among higher plants. Frequency distributions of individual plant weight as affected by the interaction between plants. *Osaka J Inst Polytech* 7:73-94.
- Kohyama T, Fujita N, 1981. Studies on the *Abies* population of Mt Shimagare. Survivorship curve. *Bot Mag* 94:55-68.
- Larson PR, 1963. Stem form development of forest trees. *For Sci Monogr* 4:1–42.
- Libby WJ, Stettler RF, Seitz FW, 1969. Forest genetics and forest-tree breeding. *A Rev Genet* 3:469-494.
- Lieffers VJ, Titus SJ, 1989. The effects of stem density and nutrient status on size inequality and resource allocation in lodgepole pine and white spruce seedlings. *Can J Bot* 67:2900-2903.
- Lin CS, Morse PM, 1975. A compact design for spacing experiments. *Biometrics* 31:661-671.

- Lines ER, Zavala MA, Purves DW, Coomes DA, 2012. Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition. *Glob Ecol Biogeogr* 21:1017–1028.
- Luís JFS, Fonseca T, 2004. The allometric model in the stand density management of *Pinus pinaster* Ait. in Portugal. *Ann Sci For* 61:807-814.
- Luís JS, Bento JS, 1991. Situação actual dos povoamentos de *Pinus pinaster* no nordeste Transmontano. Comunicação ao seminário sobre recursos naturais do nordeste Transmontano. ESEB. Bragança. 11pp.
- Lundqvist L, 1994. Growth and competition in partially cut sub-alpine Norway spruce forests in northern Sweden. *For Ecol Manag* 65:115-122.
- Mäkelä A, Valentine HT, 2006. Crown ratio influences allometric scaling in trees. *Ecology* 87:2967-2972.
- Mäkelä A, Vanninen P, 1998. Impacts of size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots pine. *Can J For Res* 28:216–227.
- Malimbwi RE, Persson A, Iddi S, Chamshama SAO, Mwihomeke ST, 1992. Effects of spacing on yield and some wood properties of *Cupressus lusitanica* at Rongau, Northern Tanzania. *Forestry* 65:73-82.
- Mayer R, 1957. The Principles of forest yield study. Pergamon. Oxford. 506pp.
- Mohler CL, Marks PL, Sprugel DG, 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *J Ecol* 66:599-614.
- Morais C, Salinas F, 1985. Efeitos da adopção de diferentes compassos – em povoamentos de resinosas; estudo de um caso (*Pinus nigra* ssp. *Laricio* for. *Corsicana*). Economia e Produção Florestal, EPF-11. Departamento de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 32pp.
- Murteira B, 1993. Análise exploratória de dados: Estatística descritiva. McGraw-Hill. Lisboa. 344pp.
- Newton PF, 1990. Initial size hierarchy development within second growth black spruce stands. *Can J For Res* 20:1720-1731.
- Newton PF, Jolliffe PA, 1998. Aboveground modular component responses to intraspecific competition within density-stressed black spruce stands. *Can J For Res* 28:1587–1610.
- Nunes L, Tomé J, Tomé M, 2010. A system for compatible prediction of total and merchantable volumes allowing for different definitions of tree volume. *Can J For Res* 40: 747-760.
- Oker-Blom P, Kellomäki S, 1982. Effect of stand density on the within-crown light regime and dying off of branches. *Folia Forestalia* 509:1-14.
- Oliveira AC, 1976. Factores condicionantes especiais – tolerância. Apontamentos de Silvicultura Especial. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 8pp. (datilografado)

- Oliveira AC, 1985a. Tabelas de produção geral para o pinheiro bravo das regiões Montanas e Submontanas. Direção Geral das Florestas e Centro de Estudos Florestais (INIC). Lisboa. 38pp + anexos.
- Oliveira AC, 1985b. Teoria da produção florestal. 2ª edição. CEF, ISA. Lisboa. 531pp.
- Oliveira AC, Correia AV, 2002. Principais espécies florestais com interesse para Portugal – Zonas de influência Atlântica. Estudos e Informação nº 322. Direção Geral das Florestas. Lisboa.
- Oliver CD, Larson BC, 1996. Forest stand dynamics. John Wiley & Sons. 520pp.
- Pereira JS, 1981. O controlo da transpiração nas florestas. Edição Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. Lisboa. 79pp.
- Perry DA, 1985. The competition process in forest stands. In: Cannel MGR, Jackson JE (eds), Attributes of trees as crop plants. Institute of Terrestrial Ecology. Abbots Ripton. 481-506pp.
- Perry DA, Mitchell RJ, Zutter BR, Glover GR, Gjerstad DH, 1993. Competitive responses of loblolly pine to gradients in loblolly pine, sweetgum and broomsedge densities. Can J For Res 23:2049-2058.
- Petersen TD, Ning Z, Newton M, 1990. Dynamics of size structure in seedling stands of *Fraxinus mandshurica* in northeast China. Ann Bot 66:255-263.
- Philip MS, 1994. Measuring trees and forests. 2nd edition. Center for Agriculture and Biosciences International. Aberdeen. 324pp.
- Poynton RJ, 1981. The silvicultural treatment of eucalypt plantations in southern Africa. S Afr For J 116:11-16.
- Pretzsch H, 2014. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. For Ecol Manag 327:251–264.
- Reineke LH, 1933. Perfecting a stand density index for even-aged stands. J Agric Res 46:627-638.
- Ritters K, 1985. Early genetic selection in Douglas-Fir. Interaction with drought, shade, and density. Tese de Doutoramento. Oregon State University. EUA. 283pp.
- Sakai KI, Mukaide H, 1967. Estimation of genetic, environmental and competition variances in standing forests. Silvae Genet 16:149-152.
- Sakai KI, Mukaide H, Tonita K, 1968. Intraspecific competition in forest trees. Silvae Genet 17:1-5.
- Schutz WM, Bruin CA, Usanis SA, 1968. Intergenotypic competition in plant populations. Feedback systems with stable equilibria in populations of autogamous homozygous lines. Crop Sci 8:61-66.
- Schwinning S, Fox GA, 1995. Population dynamic consequences of competitive symmetry in annual plants. Nord Soc Oikos 72:422-432.

- Sjolte-Jorgensen T, 1967. The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations. *Int Rev For Res* 2:43-94.
- Smith WD, 1986. The practice of silviculture. 8th edition. John Wiley and Sons. New York. 544pp.
- Smith WD, Strub MR, 1991. Initial spacing: How many trees to plant. In: Duryea ML, Dougherty PM (eds), *Forest Regeneration Manual*. Springer. Dordrecht. 281-289pp.
- Soares P, Tomé M, Ribeiro F, 1996. Efeito do compasso nas variáveis dendrométricas em Povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. *Revista Florestal* 96:9-21.
- Soares P, Tomé M, 1996. Respostas da competição intraespecífica em povoamentos florestais. Análise de plantações de *Eucalyptus globulus* Labill. *Silva Lusitana* 4(1):1-24.
- Soares P, Tomé M, 2008. Symbols used in inventory and modelling of forest resources. 2nd version. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 26pp.
- SOEF, 2015. State of Europe forests. Forest Europe. Madrid. 312pp.
- Tauer CG, 1975. Competition between selected black cottonwood genotypes. *Silvae Genet* 24:44-49.
- Thomas SC, Weiner J, 1989. Including competitive asymmetry in measures of local interference in plant populations. *Oecologia* 80:349-355.
- Thorpe HC, Astrup R, Trowbridge A, Coates KD, 2010. Competition and tree crowns: a neighborhood analysis of three boreal tree species. *For Ecol Manag* 259:1586–1596.
- Tomé M, 1988. Modelação do crescimento da árvore individual em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. (1^a rotação). Região Centro de Portugal. Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 258pp.
- Tomé M, 2001. Tabelas de produção geral para o pinheiro bravo em Portugal. GIMREF - Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais, Publicações técnico científicas do GIMREF n°7/2001. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 15pp.
- Vanclay JK, 1994. Modelling forest growth and yield Applications to mixed tropical forests. CAB International. Wallingford. 312pp.
- Vanclay JK, Skovsgaard JP, Pilegaard Hansen C, 1993. Assessing the quality of permanent sample plot databases for growth modelling in forest plantations. *For Eco Manag* 71:177-186.
- Weiner J, 1985. Size hierarchies in experimental populations of annual plants. *Ecology* 66(3):743-752.
- Weiner J, 1986. How competition for light and nutrients affect size variability in *Ipomoea tricolor* populations. *Ecology* 67(5):1425-1427.
- Weiner J, 1990. Asymmetric competition in plant populations. *Trends Ecol Evol* 5(11):360-364.

- Weiner J, Thomas CS, 1986. Size variability and competition in plant monocultures. Nord Soc Oikos 47:211-222.
- Weiner J, Wright DB, Castro S, 1997. Symmetry of belowground competition between *Kochia scoparia* individuals. Nord Soc Oikos 79:85-91.
- West PW, 1980. Use of diameter increment and basal area increment in tree growth studies. Can J For Res 10:71–77.
- West PW, 1981. Simulation of diameter growth and mortality in regrowth eucalypt forest of southern Tasmania. For Sci 27:603-616.
- West PW, Borough CJ, 1983. Tree suppression and the self-thinning rule in a monoculture of *Pinus radiata* D. Don.. Ann Bot 52:149-158.
- Westoby M, 1984. The self-thinning rate. In: Macfadyen A, Ford ED (eds), Advances in ecological research. Academic Press. London. 167-225pp.
- Yoda K, Kira T, Ogawa H, Hozami K, 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. J Biol Osaka City Univer 14:107-129.
- Zhao D, Kane M, Borders BE, 2012. Crown ratio and relative spacing relationships for Loblolly Pine plantations. Open J Forestry 2(3):110-115.

Anexos

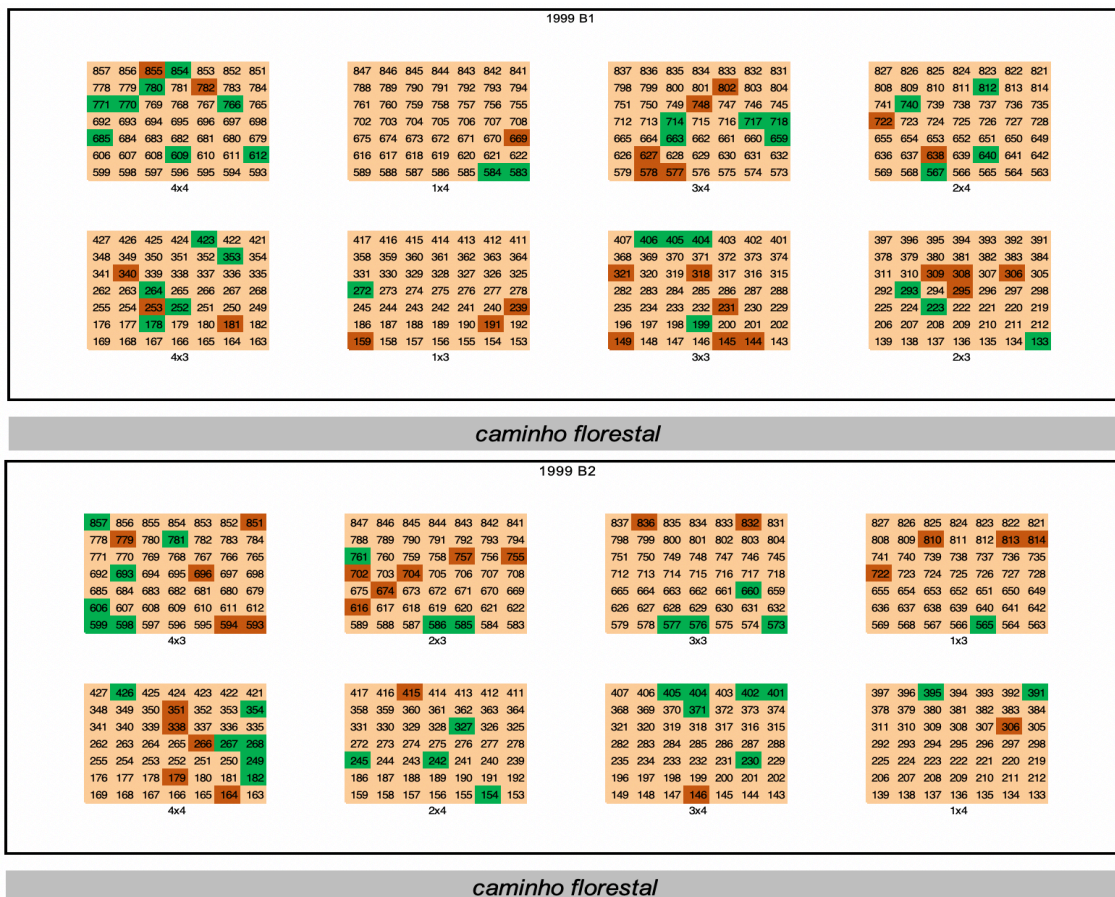


Figura 32. ANEXO - Distribuição espacial das árvores dos dois blocos aos 5 anos. Foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

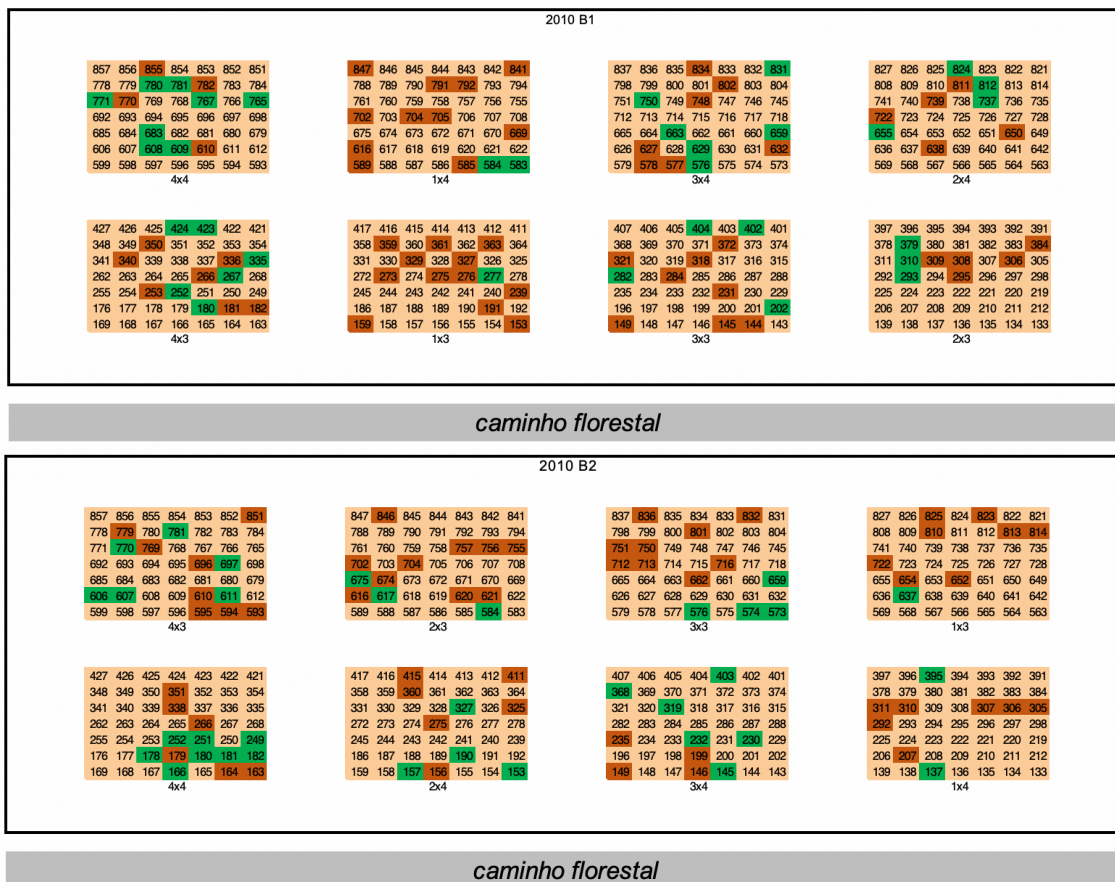


Figura 33. ANEXO - Distribuição espacial das árvores dos dois blocos aos 16 anos. Foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

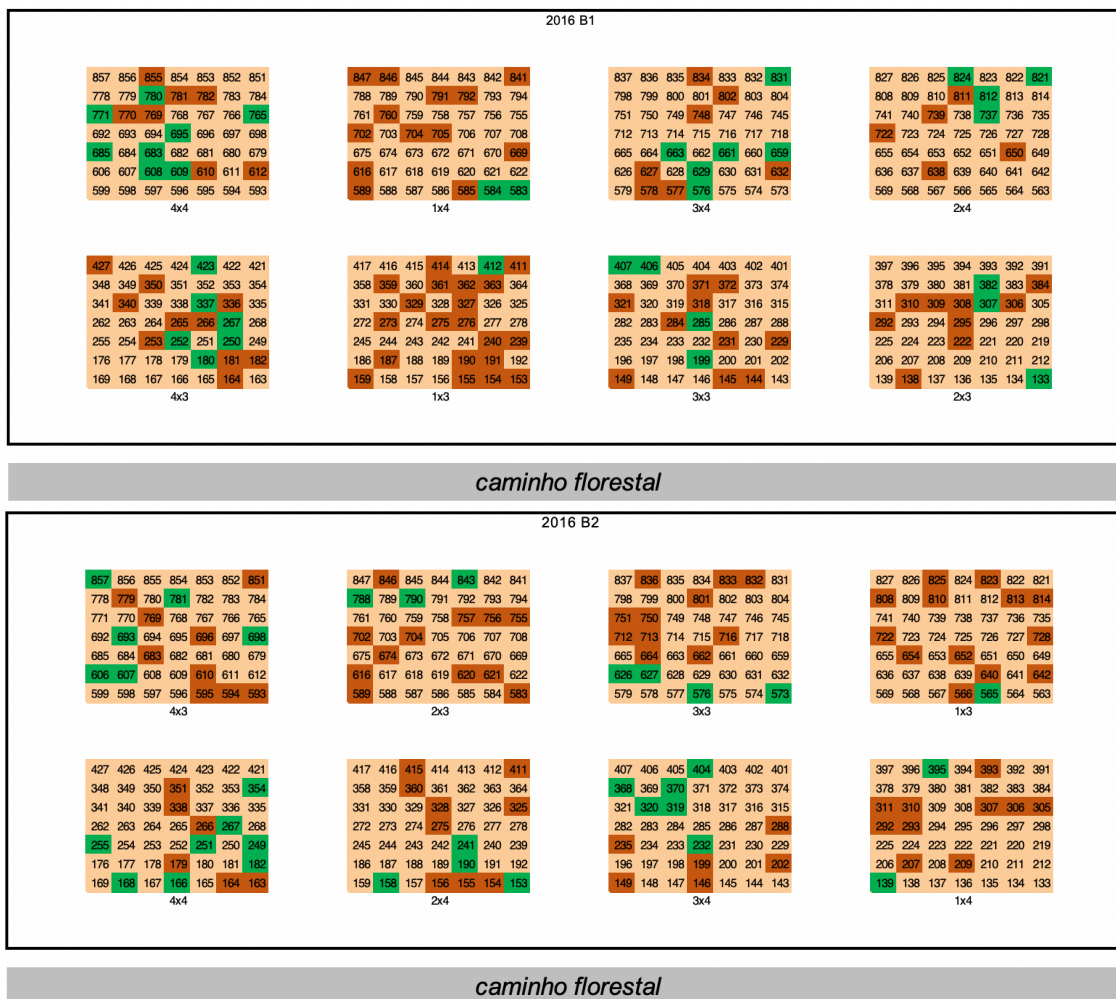


Figura 34. ANEXO - Distribuição espacial das árvores dos dois blocos aos 22 anos. Foram consideradas como árvores dominantes as árvores mais altas na proporção de 100 árvores por hectare. verde – árvores dominantes; castanho – árvores mortas.

EFEITO DO COMPASSO À PLANTAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE POVOAMENTOS DE PINHEIRO BRAVO

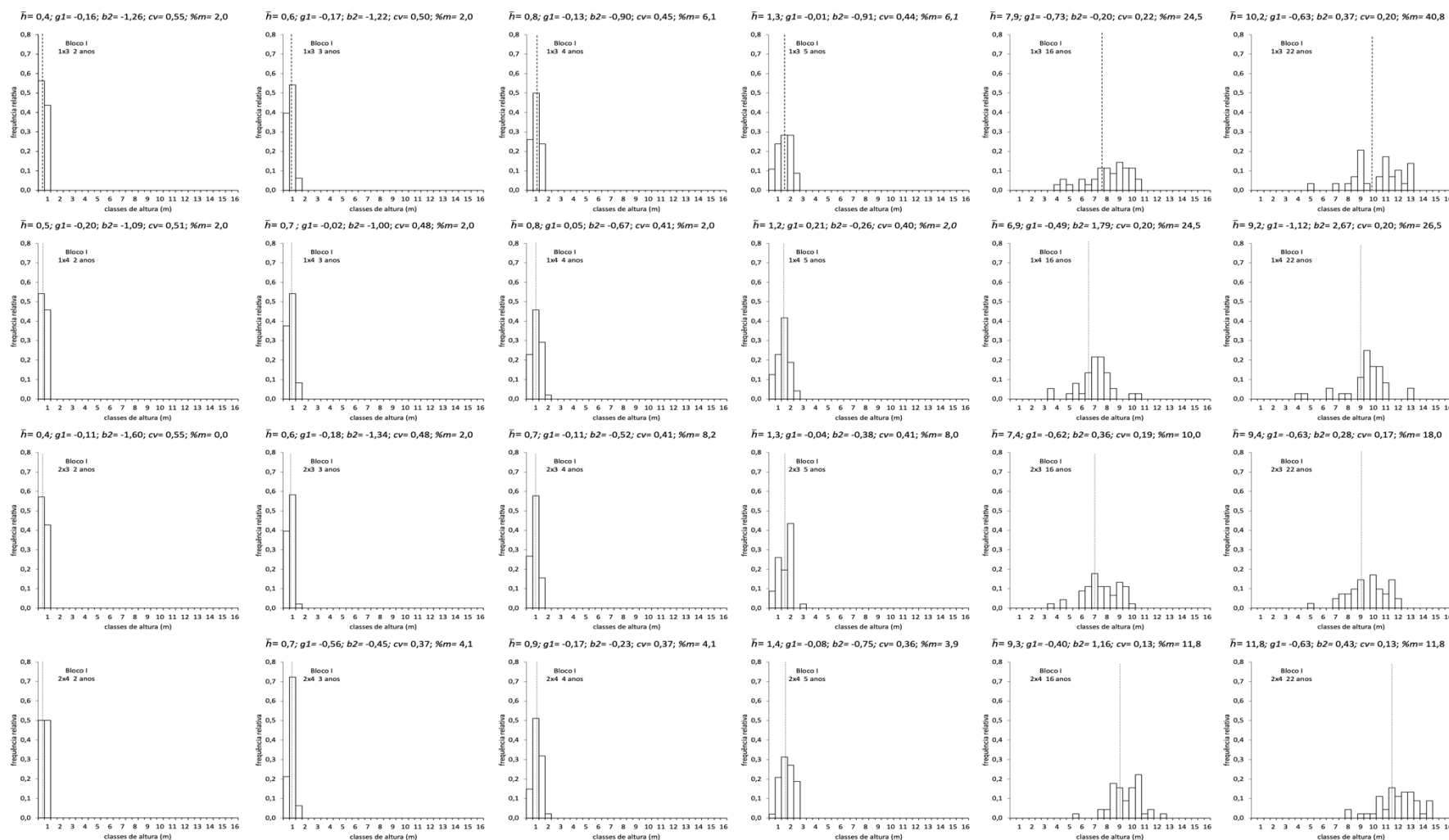


Figura 35. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3; 1x4; 2x3 e 2x4 no bloco 1 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas, para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, $\%m$, percentagem de mortalidade da parcela em relação à densidade à plantação.

EFEITO DO COMPASSO À PLANTAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE POVOAMENTOS DE PINHEIRO BRAVO

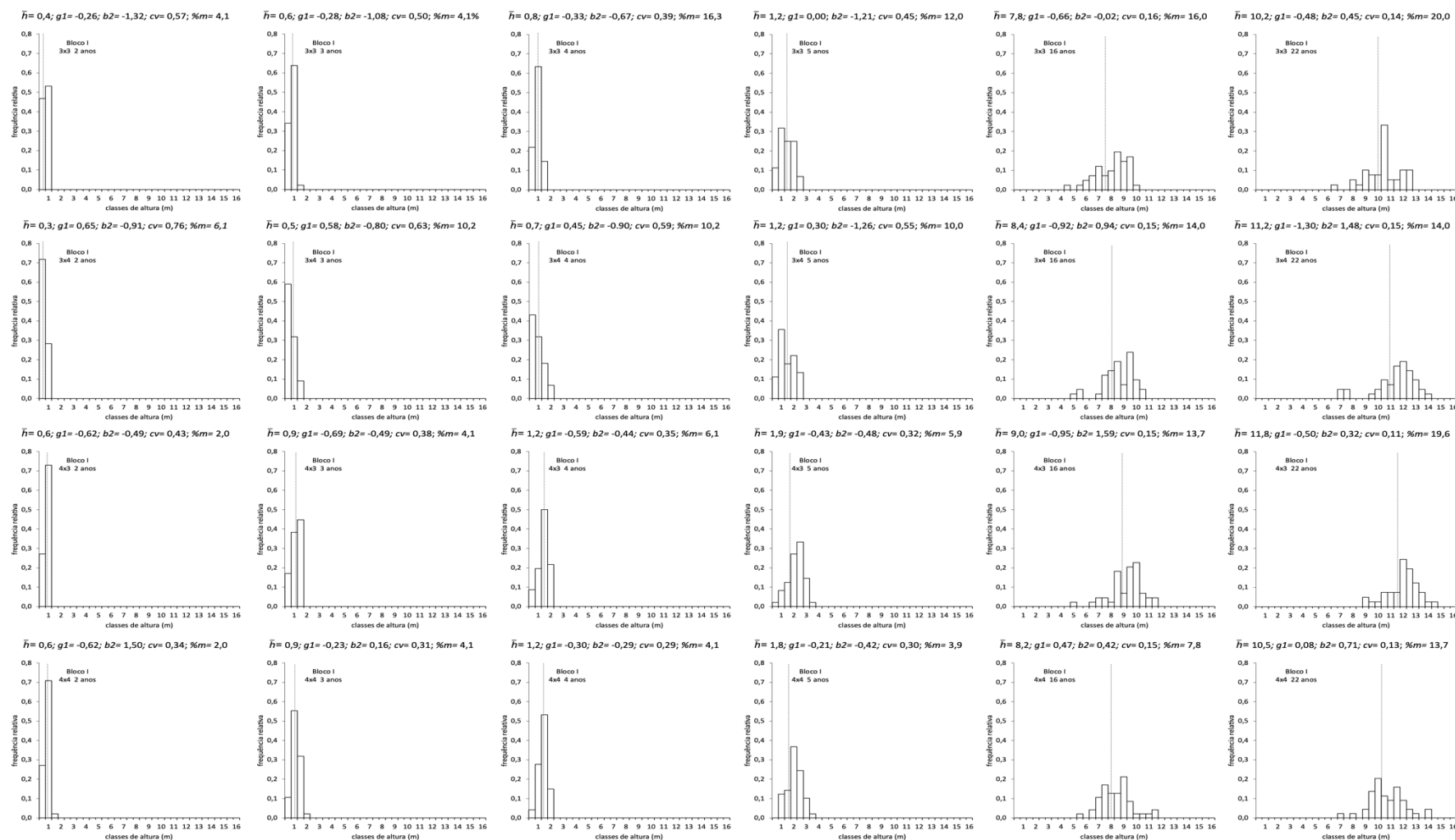


Figura 36. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 3x3; 3x4; 4x3 e 4x4 no bloco 1 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas, para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, %m, percentagem de mortalidade da parcela em relação à densidade à plantação.

EFEITO DO COMPASSO À PLANTAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE POVOAMENTOS DE PINHEIRO BRAVO

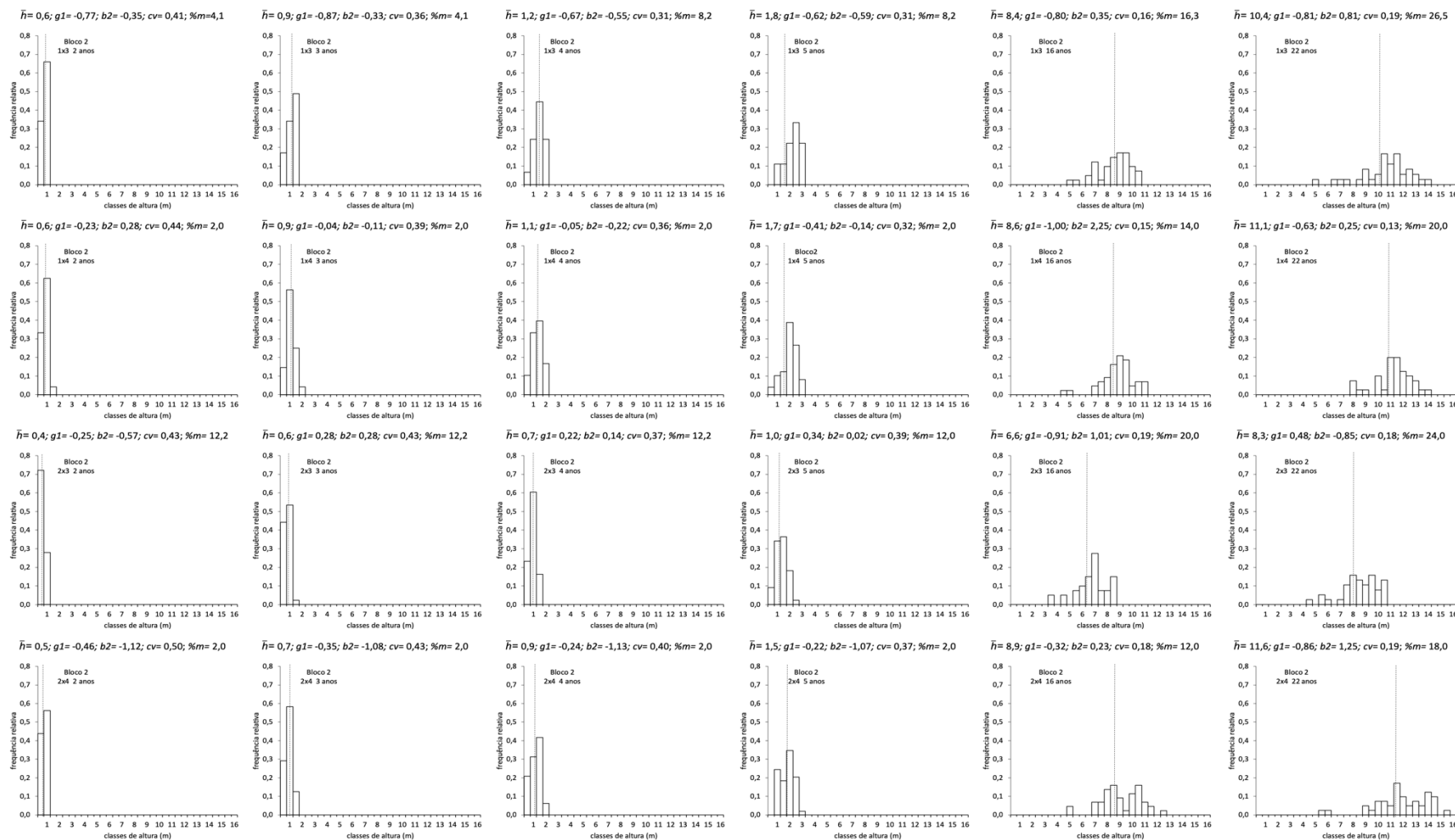


Figura 37. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 1x3; 1x4; 2x3 e 2x4 no bloco 2 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , $g1$, $b2$ e cv são estimativas, para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, $\%m$, percentagem de mortalidade da parcela em relação à densidade à plantação.

EFEITO DO COMPASSO À PLANTAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE POVOAMENTOS DE PINHEIRO BRAVO

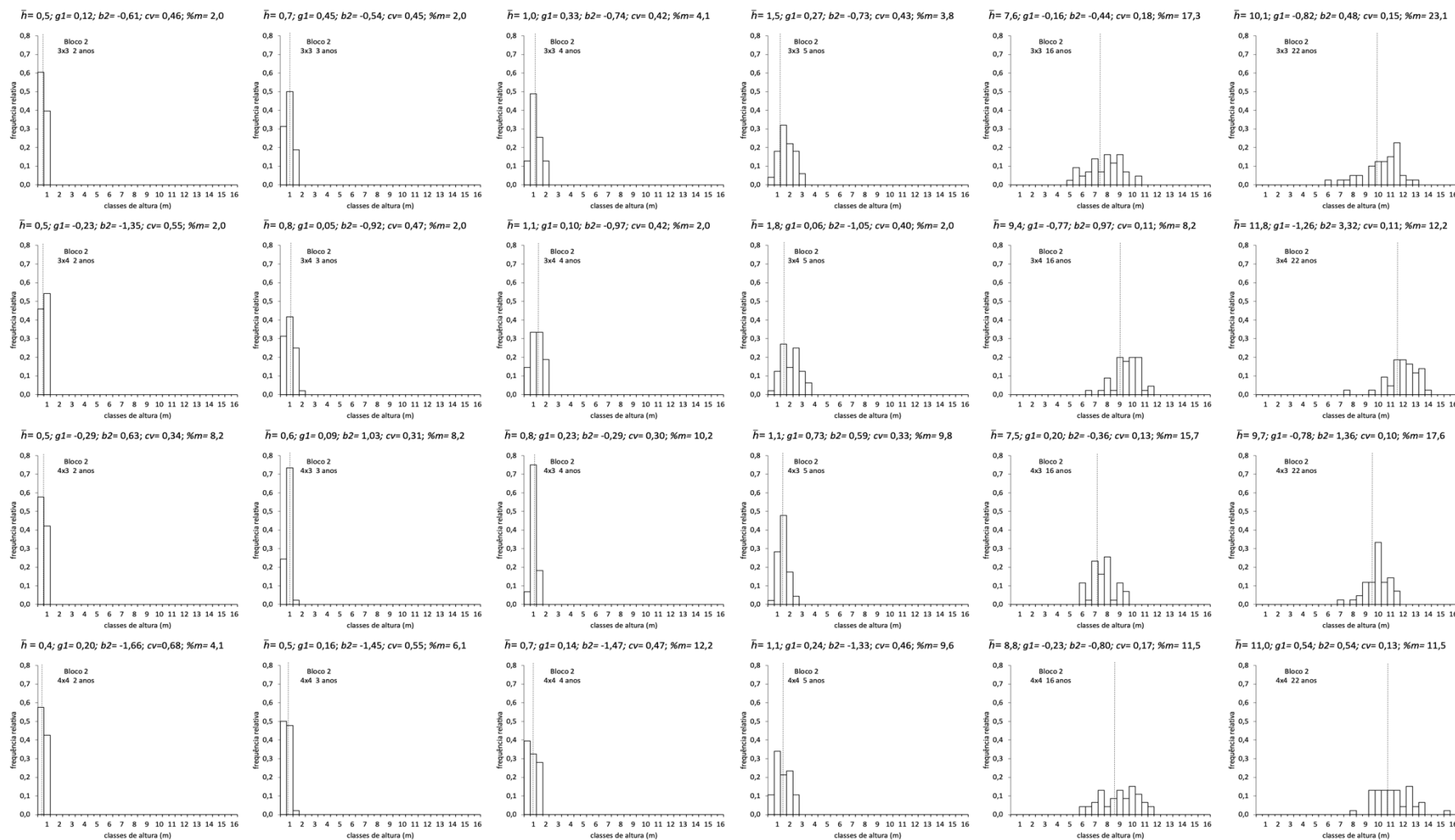


Figura 38. ANEXO - Distribuição de frequências por classe de altura nos compassos 3x3; 3x4; 4x3 e 4x4 no bloco 2 aos 2, 3, 4, 5, 16 e 22 anos; as linhas a tracejado representam a média associada a cada distribuição; \bar{h} , $g1$, $b2$ e cv , são estimativas, para a população, respetivamente, da média aritmética, dos coeficientes de assimetria, achatamento e variação, $\%m$, percentagem de mortalidade da parcela em relação à densidade à plantação.